# NATUURKUNDIGE VOORDRACHTEN 1936 - 1937

# NATUURKUNDIGE VOORDRACHTEN

## NIEUWE REEKS No. 15

VOORDRACHTEN GEHOUDEN IN DE
MAATSCHAPPIJ DILIGENTIA TE 'S-GRAVENHAGE

BESCHERMVROUW H. M. DE KONINGIN

W. P. VAN STOCKUM & ZN. N.V.
'S-GRAVENHAGE — 1937

# INHOUD


Pag.

Plantaardige Groeihormonen, door Prof. Dr. F. KÖGL . . . 1

Assimilatie en Synthese in de hogere plant, door Prof. Dr. Th. WEEVERS . . . . . 10

Hormonen, door Prof. Dr. S. E. DE JONGH . . . . . 24

Televisie, door Dr. BALTH. VAN DER POL . . . . . 36

Ultrakorte Geluidgolven en hare toepassingen, door Mevr. Dr. G. L. DE HAAS-LORENTZ . . . . . 46

De herkomst der Meteoren, door Dr. J. VAN DER BILT . . 60

Verbetering in den radio-omroep door een nieuwe modulatie-methode, door Prof. Dr. Ir. N. KOOMANS . . . . . 71

Over de Atoomkernen, door Prof. Dr. A. D. FOKKER . . . 84

Industrieele Stikstofverbinding, door A. F. A. REIJNHART 102

Geologische experimenten in verband met de Zwaartekrachts-onderzoekingen van Vening Meinesz, door Dr. PH. H. KUENEN. . . . . 118

# PLANTAARDIGE GROEIHORMONEN

door

PROF. DR. F. KÖGL, UTRECHT.

Bij de groei van levende wezens hebben wij als zeer bijzondere eigenschap de *doelmatigheid,* waarmee zij normaliter plaats heeft. Wij kennen ook het tegendeel hiervan: de chaotische groei in de kankerweefsels. Hier hebben wij iets, wat de doelmatige groei in de war stuurt. Men kan hieromtrent de stelling verdedigen, dat de normale groei een veel grooter raadsel beteekent dan de chaotische. In het vervolg zullen wij ons alleen bezighouden met de studie van de normale plantengroei. Beperken wij ons eerst tot de groei van een enkelvoudige plantaardige cel (fig. 1). Wij moeten hier onderscheiden: celdeeling, plasmagroei en celstrekking. Het begrip celdeeling behoeft hier geen toelichting, wel echter de twee andere stadia. Door deeling kan iets alleen kleiner worden. Wij hebben dan echter de groei van de dochtercel tot de grootte van de moedercel, een stadium dat wij plasmagroei noemen, omdat het vooral gekarakteriseerd is door de toeneming aan protoplasma. In het derde stadium bij de celstrekking treedt geen verdere toeneming van protoplasma op, wel echter een sterke uitbreiding van de celwanden; in de gestrekte cellen hebben wij wel naast de vacuolen celsap, het protoplasma hecht echter in een meer of minder dunne laag aan de wanden.

Dat groei zonder uitzondering afhankelijk is van de *toevoer of de productie van voedselstoffen,* weet men van ouds. Nog een tiental jaren geleden moest men veronderstellen, dat de groei uitsluitend gereguleerd wordt door een samenwerking van de talrijke enzymen. Eerst in de jongste tijd heeft men gevonden,

## Wachstumsstufen einer pflanzlichen Zelle:

I Teilung

II Plasmawuchs

III Streckung

dat bij de regeling van de plantaardige groei de zoogenaamde phytohormonen een zeer belangrijke rol spelen. Wat is het *verschil* tusschen *enzyme* en *hormoon*? Enzymen worden ontdekt op grond van hun katalytische werking op bepaalde chemische reactie's. Daarentegen oefenen de hormonen bepaalde biologische functie's uit, waarvan wij de eraan ten grondslag liggende chemische reactie voorloopig niet kennen. Dit is dus als het ware een historisch verschil, want uiteindelijk zal men ook het chemisme van de hormoonwerking leeren kennen. Het nadere onderzoek van enzymen en hormonen heeft verder ook nog een chemisch verschil naar voren gebracht; de hormonen zijn namelijk *meestal* relatief eenvoudig gebouwd met moleculairgewichten van een paar honderden, terwijl wij bij de enzymen moleculen of molecuul-aggregaten hebben met moleculairgewichten van tienduizenden.

Het is vervolgens een kenmerkende eigenschap van de hormonen, dat ze hun werking reeds in buitengewoon kleine, dikwijls zelfs onweegbare doses uitoefenen, zoodat de caloriewaarde van deze stoffen bij hun functie beslist geen rol kan spelen. Dit is dan het *verschil tusschen hormonen en voedselstoffen.*

Natuurlijk zijn al deze definitie's per slot van rekening ezelsbruggetjes welke de mensch zich heeft gebouwd, terwijl de natuur zich niet aan dit schema houdt, zoodat alle mogelijke overgangen voorkomen. Dat geldt vooral ook voor het historisch veroorzaakte dualisme hormoon-vitamine. Ook tusschen deze twee begrippen bestaat geen scherpe grenslijn en men kan zelfs zeggen: een vitamine is een hormoon dat wij eten moeten, omdat ons lichaam verleerd heeft het zelf — en wel in voldoende mate — te bereiden. Overeenkomstig deze ervaringen in de dier-physiologie leek het mij het beste, dergelijke stoffen in het plantenrijk van 't begin af phytohormonen te noemen.

Het zekere bewijs, dat de groei van plantaardige cellen door dergelijke phytohormonen geregeld wordt, werd het eerst bij de celstrekking geleverd. De botanische onderzoekingen, waarop ons

eigen werk steunde, zijn in de eerste plaats met de namen BOYSEN JENSEN, PAAL en WENT verbonden. Men werkt meestal met kiemplantjes van haver. De actieve stof, welke wij voortaan *auxine* willen noemen, wordt in de top van het kiempje gevormd en vandaar naar de basis getransporteerd. Door de top er af te snijden, wordt de groei voor een paar uur onderbroken. Binnen deze tijd kunnen wij de werking van auxine heel goed aantoonen door in de plaats van de top een met auxine beladen agar-blokje eenzijdig op de stomp aan te brengen. Daar de eene kant van het koleoptiel op deze wijze meer auxine krijgt, groeit hij sterker. Het resultaat is daarom een kromming. F. W. WENT heeft gevonden, dat de hoek van deze kromming onder zekere voorwaarden evenredig is met de auxine-concentratie in het agarblokje. Een kromming van 10° noemen wij een Avena-eenheid. Deze ijk-methode, of zooals men ook zegt, deze test, was de grondslag van onze chemische onderzoekingen over auxinen.

De celstrekking, welke door auxinen beïnvloed wordt, is dat stadium van de groei, dat, van buiten gezien, bij een groeiende plant het meest in het oog valt. De invloed van de auxinen is echter niet beperkt tot de celstrekking. Het is U allen bekend, dat een kamerplant naar het licht en een door de hagel platgelegde halm weer naar boven groeit. Bij de positieve phototropie en de negatieve geotropie — zooals men deze verschijnselen in de plantkunde noemt — speelt eveneens het auxine een groote rol. Ten eerste bleek namelijk, dat een van zijn top beroofd koleoptiel de gevoeligheid voor licht en zwaartekracht voor enkele uren verloren heeft, deze echter door een auxine-houdend agar-blokje onmiddellijk terugkrijgt. Volgens de heerschende opvatting wordt het transport van de auxinen door licht en zwaartekracht beïnvloed, in elk geval bleek, dat de schaduwkant resp. de onderzijde van het koleoptiel rijker is aan auxine dan de lichtkant resp. de bovenzijde.

In de jongste tijd bleek, dat wij daarmee met de functie's van de auxinen nog niet aan het einde zijn. Men heeft kunnen aan-

toonen, dat de wortelvorming bij stekken door toedienen van auxine buitengewoon bevorderd wordt; vervolgens geeft auxine aanleiding tot de secundaire diktegroei. Iedere tuinier weet, dat bij vele planten de zijknoppen eerst tot ontwikkeling komen, nadat de hoofdknop verwijderd of uitgebloeid is. Amerikaansche botanici hebben kunnen aantoonen, dat ook dit verschijnsel door de auxinen veroorzaakt wordt; de zijknoppen komen namelijk niet tot ontwikkeling, zoo lang de hoofdknop auxine naar beneden stuurt. Wij zien, dat de auxinen op zeer verscheiden wijze de groei leiden; natuurlijk zijn zij niet zelf het „bestuur", maar wel een werktuig er van.

De organische resp. de physiologische chemie heeft zich in het laatste decennium veel met de isoleering en de studie van deze natuurlijke activatoren of regulatoren bezig gehouden. Er zijn drie voorwaarden voor succesvol werk op dit gebied:

1) *Een geschikte ijkmethode.* De gezochte stoffen komen in de natuur nergens in zuivere toestand voor; zij zijn overal gemengd met duizenden andere. Nu komt er nog bij, dat deze ballaststoffen niet alleen in aantal, maar ook in quantiteit verreweg de overhand hebben, zoodat op 1 deel hormoon b.v. 100.000 of zelfs een paar millioen deelen „verontreinigingen" komen. Door doelmatige chemische operatie's trachten wij nu, dit quotient stapsgewijze te veranderen, zoodat tenslotte alleen de gezochte stof overblijft. Of wij bij onze proeven de goede kant opgaan, moeten wij telkens door een ijking controleeren. Bij de auxinen hebben wij b.v. de beschreven testreactie van WENT gedurende de laatste zes jaren omstreeks 500.000 maal moeten uitvoeren.

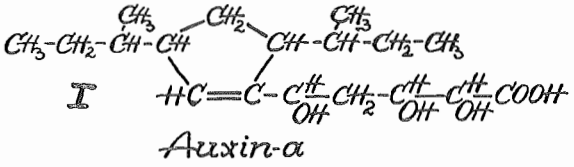
2) De tweede voorwaarde is de *toegankelijkheid van het uitgangsmateriaal.* Indien in ons geval de toppen van haver of mais werkelijk de eenige bron voor de auxinen waren, dan zou ik U hier niet veel over deze stoffen kunnen vertellen. Door ons eigen werk weten wij heden, dat een havertopje slechts het 50 milliardste gedeelte van een gram auxine bevat. Om uit maistoppen een gram

zuiver auxine te bereiden zouden 5.000.000 menschen een dag aan 't werk gezet moeten worden om deze toppen te praepareeren. Gelukkig hebben wij bronnen van auxine gevonden, welke niet zoo'n phantastische eisch stellen. Menschelijke urine, maisolie en mout zijn materialen, waaruit wij in de loop van 5 jaren omstreeks anderhalf gram gekristalliseerde auxinen konden afscheiden.

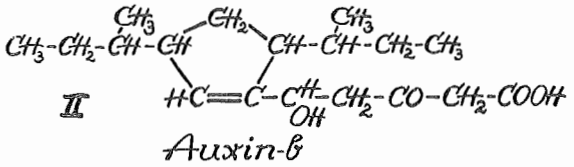
Urine is in experimenteel opzicht het beste uitgangsmateriaal. Uit 150 liter krijgt men na indampen 6 kg. van een donkerbruine stroop en daaruit dan na 4 weken werk omstreeks 30 mg. auxine-a. Natuurlijk hebben wij ons de vraag gesteld, hoe het komt, dat de mensch dagelijksch 1—2 mg. auxine-a uitscheidt. Mijn medewerker HAAGEN SMIT is dat in proeven met zichzelf nagegaan; hij dronk om het uur 100 ccm water en onderzocht dan de uitgescheiden urineportie's. Het bleek spoedig, dat het auxine-gehalte eenige tijd na het gebruiken van maaltijden het hoogst is. Hij heeft dan hetzelfde procedé op verschillende diëeten toegepast en gevonden, dat plantaardige vetten de voornaamste auxinebron vormen.

Zoodra de chemicus toereikende hoeveelheden van het actieve kristallisaat ter beschikking heeft komt dat gedeelte van het werk, wat voor hem het meest belangwekkend is: de opheldering van de bouw der nieuwe verbinding. Te dien einde moeten wij het molecuul *afbreken*. De strekking hiervan zal den buitenstaander door een vergelijking duidelijk worden. Indien een ingenieur de taak opgelegd wordt, een motor na te bootsen, dan zal hij ermee beginnen, de motor voorzichtig uit elkaar te schroeven en daarna een constructieteekening te maken. Nagenoeg hetzelfde doen wij met onze moleculen; de kunst is voor ons, door de juiste keuze van chemische agentiën geschikte schroevedraaiers te vinden. Ook wij trachten dan uit de deelen tot de bouw van het geheel te concludeeren; de constructieteekeningen zijn onze structuurformules!

De vijfring met een dubbele binding en twee secundaire butylgroepen zijn in beide auxinen aanwezig; zij verschillen in de zuurstofhoudende zijketen, waar wij naast een zuurgroep (—COOH) bij auxine-a 3 alcoholische hydroxylen, bij auxine-b één OH- en



I Auxin-a



II Auxin-b

een CO-groep hebben. Ik moet er van afzien, de experimenten te bespreken, waarop deze formules steunen, omdat alleen mijn vakgenooten dat zouden kunnen volgen. Echter wil ik in het kort een zeer recent resultaat vermelden, omdat het waarschijnlijk ook voor de plantenphysiologie van belang zal zijn. Auxine-a staat in oplossing — waarschijnlijk ook in de plant — in een evenwicht met zijn inwendige ester, het auxine-a-lacton. Het is nu buitengewoon verrassend, dat dit lacton in tegenstelling met het vrije zuur lichtgevoelig is. Door bestraling met ultraviolet licht wordt het in weinige seconden omgezet in een onwerkzame stof, het lumi-auxine-a-lacton. Wij zullen nagaan, of deze reactie een rol speelt bij de lichtgevoeligheid van de planten, dat wil zeggen, bij de positieve phototropie.

In het jaar 1933 hebben wij een andere verrassende ontdekking gedaan. Toen werd gevonden, dat bij de testreactie met haverplantjes behalve de auxinen a en b ook nog een heel andere stof, namelijk het reeds lang bekende $\beta$-indolyl-azijnzuur werkzaam is, zij het ook maar half zoo sterk. Hetero-auxine — zoo noemen

wij deze stof nu ook — komt eveneens in urine voor, daarnaast in gist en andere lagere organismen. Dat in de toppen niet dit hetero-auxine, maar wel het auxine-a gevormd wordt, konden wij aantoonen met een waarschijnlijkheid, welke aan zekerheid grenst.

Het was trouwens een buitengewoon gelukkige omstandigheid, dat wij bij de opwerking van urine niet het $\beta$-indolyl-azijnzuur, maar het auxine-a eerst in handen kregen, anders was de weg tot zijn ontdekking voor goed bedolven, daar men dan geen reden had om aan te nemen, dat er nog een ander auxine existeerde.

Het gemakkelijk te synthetiseeren $\beta$-indolyl-azijnzuur speelt in de botanische litteratuur van de laatste drie jaren reeds een groote rol. Zooals auxine-a, bevordert ook deze stof bij stekken de wortelvorming en het is merkwaardig, dat deze werking ook door verwante stoffen gegeven wordt, welke bij de havertest onwerkzaam zijn. Vooral Amerikaansche onderzoekers zijn nu druk bezig, zulke synthetische analoga van hetero-auxine op te sporen.

Zooals wij gehoord hebben, zijn de auxinen gedefiniëerd als phytohormonen van de celstrekking. Achteraf is gebleken, dat zij — zij het ook eerst in hoogere concentratie — bij de wortelvorming en bij de secundaire diktegroei ook celdeelingen veroorzaken. In het laatste gedeelte van mijn lezing zal ik nu stoffen behandelen, welke bij de vermeerdering van de gistcel en waarschijnlijk in het algemeen bij celdeeling en plasmagroei van beteekenis zijn. De ontdekking van deze stoffen is aan WILDIERS te danken, die in het jaar 1901 onder de auspiciën van zijn leermeester IDE aan het kweeken van gist werkte. Van hem is ook de naam „bios" afkomstig, waarmee wij deze groep van stoffen ook heden nog samenvatten. Het gaat hier over groeistoffen, welke door de gecultiveerde gistrassen tenminste gedeeltelijk uit de voedingsoplossing moeten worden opgenomen. In tegenstelling hiermee produceeren de wilde gistrassen al hun biosstoffen zelf, zoodat wij, om een modern woord te gebruiken, in dat opzicht een soort autarkie hebben. Ik moet er van af zien,

de omvangrijke en ten deele buitengewoon verwarde litteratuur over dit „bios" te behandelen en beperk mij tot ons eigen onderzoek over dit vraagstuk.

In het jaar 1934 zijn wij er in geslaagd, als een belangrijke component van bios het gekristalliseerde *biotine* te isoleeren. Dit is tot nu toe het kostbaarste groeihormoon; het zou — indien het te koopen was — duurder zijn dan radium. Wanneer men het uit bakkersgist zou willen bereiden, moest men niet minder dan 360.000 kg. ervan opwerken om 1 gram kristallisaat te verkrijgen. Eigeel is 10 maal rijker aan biotine en vooral gedroogd eigeel is een voordeelig uitgangsmateriaal.

De weg tot bereiding van het gekristalliseerde biotine is buitengewoon moeizaam; wij hebben nu na $4^1/_2$ jaar in het geheel pas 60 mg. van deze kristallen kunnen bereiden en dat is natuurlijk voor het onderzoek slechts een druppel op een heete plaat. Wij beginnen eerst nu een inzicht in het molecuul te krijgen.

Van de physiologische werkzaamheid van het biotine zal ik alleen vermelden, dat zij nog in de geweldige verdunning van 1 : 40.000.000.000, ja zelfs 1 : 400.000.000.000 is aan te toonen. Door Canadeesche resp. Amerikaansche onderzoekers zijn vroeger reeds twee andere bios-factoren gevonden, en wel het meso-inosiet en het aneurine, dat is het vitamine $B_1$. Deze beide factoren zijn bij het door ons gebruikte gistras (een branderij-bovengist) op zichzelf onwerkzaam, zij versterken echter het effect van biotine. Zeker is de lijst van de bios-factoren met deze drie nog niet uitgeput.

Het lag voor de hand te vermoeden, dat biotine ook een groeihormoon van de hoogere planten is. Wij konden dat onlangs bewijzen door proeven met geïsoleerde (dat wil zeggen, van de kotielen bevrijde) embryonen van erwten. Deze embryonen werden onder steriele omstandigheden in reageerbuisjes op gelatine gekweekt; de voedingsbodem bevatte naast rietsuiker en anorganische zouten nog sporen van gekristalliseerd biotine. Nog in een verdunning van 1 : 125.000.000 geeft biotine een duidelijke bevordering van

de groei. Terwijl deze werking voornamelijk aan de spruit te constateeren is, hebben overeenkomstige proeven met aneurine (vitamine $B_1$) vooral een bevordering van de wortelgroei laten zien. Een erwtje heeft een voorraad van 0,1 $\gamma$ biotine en 0,5 $\gamma$ aneurine; met dergelijke hoeveelheden pro embryo hebben wij ook de genoemde groeiwerking tot stand gebracht. Onze proeven komen dus daarop neer, dat wij de embryo van zijn natuurlijke voorraad aan phytohormoon berooven en in plaats daarvan deze stoffen kunstmatig toedienen. Hetzelfde principe heeft tot de ontdekking van dierlijke hormonen geleid, waar men na verwijdering van bepaalde klieren, eveneens een tekort heeft, hetwelk dan door kunstmatig toedienen van het betrokken hormoon opgeheven wordt.

Veertig jaar geleden heeft EYKMAN in de zilvervliesjes van rijst het eerste vitamine ontdekt, en wel juist het aneurine, waarvan het ontbreken in het voedsel beri-beri veroorzaakt. Het leek heel vriendelijk van de planten, dat ze deze stof voor de mensch bereidden, om hem voor ziekte te behoeden. Nu weten wij echter, dat de planten toch niet zoo erg altruïstisch zijn, omdat zij klaarblijkelijk het aneurine, tenminste voor het kiemen, zelf noodig hebben.

Bij de proeven met de geïsoleerde embryonen van erwten hebben wij ook het vrouwelijke geslachtshormoon oestron toegediend en ook daarmee een, zij het ook zwakkere, bevordering van de groei gezien. Het best voldeed een combinatie van biotine, aneurine en oestron. Natuurlijk zijn behalve deze drie stoffen bij het kiemen nog een heeleboel andere stoffen betrokken, maar is het al niet een zeer merkwaardig resultaat, dat stoffen, welke bij de mensch en het hoogere dier voor het normaal functioneeren van de zenuwen resp. voor de regulatie van de vrouwelijke cyclus noodig zijn, bij de plant voor het kiemen van het zaad dienst doen?

# ASSIMILATIE EN SYNTHESE IN DE HOGERE PLANT

door

PROF. DR. TH. WEEVERS.

---

Wanneer gevraagd wordt, welke hoofdstukken uit de plantenphysiologie het meest van algemeen belang zijn, dan is ongetwijfeld het antwoord: die hoofdstukken, waarin de assimilatie en synthese van organische stoffen behandeld worden, die voor het bestaan van mens en dier onmisbaar zijn.

Wel is waar zijn deze processen nog lang niet tot klaarheid gebracht, maar toch is in de laatste jaren ons inzicht erin zozeer veranderd en verdiept, dat het de moeite waard is erover te spreken.

Onder assimilatie verstaan wij het proces, waardoor de levende plant uit anorganische stoffen organische opbouwt; zij maakt deze aan zich zelf gelijk, assimilare betekent in het latijn gelijkmaken. Meestal wordt hieronder speciaal de koolstofassimilatie verstaan, dus het proces, waarbij uit koolzuur en water koolhydraten worden gevormd. Men kan echter evengoed van stikstofassimilatie spreken, daarbij bedoelende het proces, waarbij uit de opgenomen nitraten, tezamen met de door koolstofassimilatie verkregen koolhydraten eiwitten worden opgebouwd.

Die stikstofassimilatie zal ons pas later bezig houden, voorlopig bepalen wij ons tot de koolstofassimilatie.

Als PRIESTLEY in 1774 de zuurstof ontdekt, konstateert hij tevens, dat als in een afgesloten ruimte verbranding niet meer mogelijk is, de groene planten in staat zijn, die atmosfeer zó te veranderen,

dat er opnieuw verbranding in gebeuren kan. De apotheker SCHEELE kwam evenwel tot het tegenovergestelde resultaat en het was aan onzen landgenoot JAN INGENHOES, hofarts van Keizerin Maria Theresia voorbehouden, die tegenstrijdigheid op te helderen. In 1779 publiceerde hij zijn „proeven over planten":

Deze proeven ontdekken, dat de planten in staat zijn de lucht te zuiveren in de zonneschijn, maar dat zij deze in het donker slechter maken.

Vooral uit de latere werken van INGENHOES blijkt, hoe goed hij dit onderwerp had bestudeerd; merkwaardig is evenwel, dat in die tijd het vooral de zuurstof is, die in het centrum van de belangstelling staat. Als in de tijd van Napoleon de verdiensten van INGENHOES worden gevierd, is een tirade uit een feestrede: „Elke ook de kleinste, de giftigste plant is voor de mens nuttig, omdat zij de atmosfeer zuivert". Dat is natuurlijk juist, mààr, dat door die assimilatie ook al ons organisch voedsel wordt gevormd, treedt in die tijd geheel op de achtergrond, al zag een genialen plantenphysioloog als de SAUSSURE het wel zeer scherp in.

Al was het proces als geheel nu duidelijk geworden; waar en hoe echter dit proces plaats vond, moest wel verborgen blijven zolang men niet beter op de hoogte was van de anatomische bouw van de plant en geleerd had, dat de plant opgebouwd is uit cellen.

De levende inhoud van die cellen is protoplasma, waarin zich een centraal regulerend lichaam, de kern bevindt; die kern wordt weer omgeven door de zgn. kleurstofdragers, die in de groene delen een mengsel van groene en gele kleurstoffen bevatten. Men kan die kleurstoffen met alkohol, aceton etc. eruit trekken en van elkaar scheiden.

Dit alles werd in het midden van de vorige eeuw pas langzaam aan bekend en eerst omstreeks 1870 worden al deze gegevens verwerkt tot een goed sluitend geheel. Dat was het werk van den grootmeester van de plantenphysiologie uit die tijd, van JULIUS SACHS.

Dan weet men:

1° dat de assimilatie uitsluitend gebeurt in de levende groene delen en wel speciaal in de bladgroenkorrels.

2° dat de assimilatie alleen gebeurt bij voldoende belichting.

3° dat door assimilatie evenveel zuurstof vrijkomt als er koolzuur wordt verbruikt, terwijl het eerste zichtbare produkt der assimilatie het zetmeel is.

De kennis van de ontwikkelde leek van nu staat gewoonlijk nog op dit peil van de tijd van SACHS.

In welke opzichten is nu echter onze kennis uitgebreid? Als eerste punt zou ik willen noemen het feit, dat de koolstofassimilatie niet één proces is, maar een reeks van processen, die achtereenvolgens moeten gebeuren en waarbij het eindprodukt het koolhydraat is.

Het is gemakkelijk in te zien, dat bij een keten van dergelijke achter elkaar geschakelde processen de snelheid van het geheel in hoofdzaak bepaald zal worden door dat onderdeel, dat het langzaamst verloopt en dus als het ware de andere processen, die op zich zelf sneller zouden kunnen plaats vinden, ophoudt. Vergelijking met een elektrische stroom, die een weg van verschillende weerstand doorloopt, of een rivier, die op één punt in zijn loop belemmerd wordt, kan dit illustreren.

Welke processen zijn dat nu?

Duidelijk is, dat eerst door een diffusieproces het van buitenaf toegevoerde koolzuur naar de bladgroenkorrels moet getransporteerd. Daarbij moet het koolzuur de huidmondjes passeren en het is daarom van grote betekenis, dat het mechanisme van het opengaan van deze huidmondjes zó is, dat bij belichting het openen gebeurt.

Om nu evenwel in te zien welke processen er dan verder plaats grijpen, zou ik nader in willen gaan op de vergelijking van de intensiteit van de assimilatie in lichtgroene en donkergroene variëteiten van éénzelfde soort. Men berekent de intensiteit per eenheid

van bladoppervlak en zou dan verwachten, dat de donkergroene variëteit met 2maal zoveel chlorophyl ook twee maal zo intensief zou assimileren. Het experiment leert evenwel, dat dit *niet* zo is en het lichtgroene blad per oppervlakte-eenheid relatief veel sterker assimileert dan het donkergroene. Wat is hiervan nu de reden?

Om dit na te gaan, moeten wij de assimilatie van beide bladsoorten bestudeeren bij verschillende temperaturen. Dan blijkt, dat een temperatuurstijging de assimilatie der donkergroene blaren in sterke mate doet toenemen.

Nu is het een bekend feit, dat chemische reakties door temperatuurstijging versneld worden, photochemische processen niet; er moet dus hier een chemisch proces bij de assimilatie in het spel zijn, nà of vóór het photochemisch proces, dat in het zonlicht gebeurt.

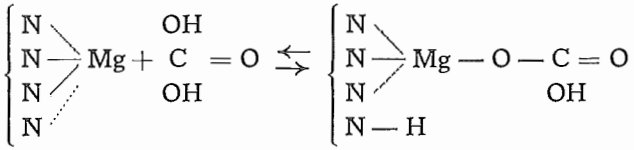
Het ligt nu voor de hand om aan te nemen, dat het proces hetwelk de snelheid van het geheel bepaalt in de donkergroene blaren een gewoon chemisch proces is; door de temperatuurstijging wordt dan de rem die dit chemisch proces op het geheel uitoefende minder sterk en neemt zodoende de totale intensiteit toe. Bij de lichtgroene daarentegen, waar slechts versterking van de belichting de intensiteit verhoogt, moet een photochemisch proces de remmende schakel zijn. M.a.w., behalve het diffusieproces, is er minstens één fotochemisch en één chemisch proces bij de assimilatie betrokken. Dit denkbeeld, het eerst door de chemicus WILLSTÄTTER geuit, wordt nu in de loop der jaren verder uitgewerkt o.a. door WARBURG en door onzen landgenoot V. D. HONERT.

Voor we nu verder gaan, moet eerst iets gezegd over het bladgroen of liever over de kleurstoffen, die zich in de plastiden bevinden. Het zijn twee gele en twee groene kleurstoffen, waarvan de twee laatste ongetwijfeld de hoofdrol spelen, al is het nog volstrekt niet zeker, dat de geel-oranje kleurstoffen de zgn. carotinoiden van geen betekenis voor de assimilatie zijn.

Er zijn vele jaren van onderzoek nodig geweest eer de chemische

struktuur van het chlorophyl opgehelderd was; nu is dank zij het werk van WILLSTÄTTER en STOLL het vraagstuk nagenoeg tot klaarheid gebracht.

Het zou ons te ver voeren de struktuur uitvoerig te behandelen, maar aan de hand van bijgaande plaatjes is te zien dat het reuzenmolekuul bestaat uit lange ketens van CH en $CH_2$ groepen, de zgn. phytylgroep, die gebonden is aan een kern vergelijkbaar met het Metalen Kruis. In het centrum hiervan is een magnesiumatoom, gebonden aan 4 stikstofatomen, die elk deel uitmaken van een pyrrolgroep, welke groepen dan weer onderling door CH groepen tot één ring verbonden zijn. Waarschijnlijk gebeurt aan dit magnesiumatoom de binding van het in water opgeloste koolzuur.



Merkwaardig en nog onverklaard is dat die binding met zo grote intensiteit gebeurt, zodat het groene blad uit lucht die slechts drie honderste % koolzuur bevat, dit even snel opneemt als verdunde loog zou doen.

Blijkens het voorafgaande zullen nu een fotochemisch en een gewoon chemisch proces plaats grijpen. Over de details hiervan lopen de meningen echter nog zozeer uiteen, dat het slechts verwarring zou geven, wilde ik die verschillende hypothesen hier bespreken, maar het is duidelijk, dat onder opneming van lichtenergie (4 lichtquanta) een stof met een hoger energiepotentiaal moet ontstaan. Deze wordt enzymatisch gesplitst en geeft bij die splitsing enerzijds zuurstof af, anderzijds formaldehyde, de grondstof voor de vorming van de koolhydraten. Wat achterblijft moet dan weer opnieuw in staat zijn het toestromende koolzuur te binden.

Zelfs over de snelheid waarmee dit geschiedt, en hoeveel maal

per sekunde een molekuul koolzuur gebonden wordt, heeft men zich zoals later blijken zal een oordeel kunnen vormen. De laatste enzymatische splitsing onderstelt men dan dat het zuiver chemische proces moet zijn waarvan hierboven sprake was en naar de bekende Engelse plantenphysioloog wordt dit de BLACKMAN reaktie genoemd.

Er zijn redenen om aan te nemen, dat die splitsing overeenkomst vertoont met die van waterstofperoxyde door het enzym katalase, een splitsing, waarbij ook zuurstof vrijkomt. De sterke remming die blauwzuurgas op het proces uitoefent is een van die beweegredenen.

Wij hebben nu iets gezegd over de chemische bouw van het chlorophyl-molekuul; de twee soorten die altijd naast elkaar aanwezig zijn verschillen slechts in details, het zal echter nodig zijn wat nader in te gaan op enkele physische eigenschappen van dit chlorophyl.

De groene kleur wordt veroorzaakt doordat in hoofdzaak de rode en in mindere mate ook de blauwe stralen van het spektrum geabsorbeerd worden; die stralen zijn het dan ook waarin de sterkste assimilatie plaats heeft, in het infrarode en het ultra violette deel is geen assimilatie.

Hoewel hierin hoofdzakelijk sprake is van de assimilatie van de hogere planten, kan ik niet nalaten ook even te memoreren, dat er vooral onder de lagere planten zijn, die in een milieu met geheel andere belichting leven. Ik bedoel de wieren, die we in zee op grotere diepten kunnen aantreffen. Waar het licht niet meer doordringt, is plantenleven natuurlijk onmogelijk, maar op een diepte van enkele tientallen meters, verschillend naar gelang van de helderheid van het water, is dit nog niet het geval. Daar is door de absorptie niet alleen de totale sterkte verminderd, maar het rode deel van het spektrum is verreweg het meest verzwakt; het is een blauwgroen schemerlicht, wat er schijnt. In die omgeving leven nu plantensoorten, die 1° schaduwplanten zijn, maar 2° door hun naast chlorophyl aanwezige kleurstoffen in staat zijn

al het licht dat er op valt te absorberen. M.a.w. in dat milieu zijn ze zwart, al noemen wij ze roodwieren naar de kleur, die ze aan de oppervlakte van de aarde bezitten.

Daarnaast zijn er op grote diepte ook bruinwieren, die behalve bladgroen ook veel carotineachtige kleurstoffen bevatten; welke blijkens zeer recente onderzoekingen eveneens een rol schijnen te spelen bij de assimilatie.

Naast de kleur is ook de fluorescentie van een chlorophyloplossing een typische eigenschap, en juist deze eigenschap opent ons de weg tot een nader inzicht in het wezen van de assimilatie. Niet slechts een alkoholische chlorophyloplossing fluoresceert maar ook het levende blad en hieruit is de konklusie getrokken, dat het chlorophyl in *oplossing* in de levende cel aanwezig zou moeten zijn; suspensies fluoresceren nl. niet. Dat die konklusie niet geheel gerechtvaardigd is, zullen we later zien, hier is evenwel aan de orde de vraag of die fluorescentie tijdens de belichting even sterk is.

KAUTSKY en HIRSCH hebben dit speciaal nagegaan voor de allereerste ogenblikken, dat de assimilatie begint. Het blijkt dan, dat de fluorescentie eerst sterk toeneemt om daarna geleidelijk af te nemen tot de konstante waarde bereikt is, die bij de verdere assimilatie bewaard zal blijven. Laat men blauwzuur inwerken, dat zoals gezegd speciaal die chemische processen remt, waarbij sprake van een katalyse door zware metalen, speciaal yzerverbindingen, dan ontstaat er geen assimilatieprodukt en blijft de fluorescentie op het hoge niveau staan. Hieruit kan de gevolgtrekking gemaakt worden, dat het primair gevormde produkt dat is, wat fluoresceert en dat dit door een chemische reaktie het definitieve assimilatieprodukt geven moet. Hiermee is volkomen in overeenstemming, dat in normale omstandigheden de fluorescentie des te sneller tot het konstante niveau daalt naarmate de temperatuur hoger is, m.a.w. naarmate door de hogere temperatuur de chemische reaktie sneller verloopt.

Interessant is ook, dat tijdens de allereerste ogenblikken als de fluorescentie zo snel stijgt, de reaktie juist niet gevoelig is voor blauwzuur maar wel voor narkotica, wat dus wijst op een photochemisch proces.

Nog weer een stapje verder brengen ons de onderzoekingen van EMERSON en ARNOLD. Zij hebben het denkbeeld van WARBURG nader uitgewerkt nl. om het photochemische en het gewone chemische proces van elkaar te scheiden door gebruik te maken van een intermitterende belichting met zeer korte perioden. Er wordt gewerkt met lichtflitsen van tiende en honderste delen van sekunden. Men zou verwachten, dat de intensiteit van de assimilatie in dezelfde mate af zou nemen als de totale duur der lichtflitsen afnam, maar dat is zo *niet*. Relatief gesproken neemt de assimilatie toe als de lichtflits bijv. driemaal korter, maar hun aantal driemaal groter wordt. Er moet dus tijdens de lichtflitsen een produkt zijn gevormd, dat in de donkere perioden niet alleen verwerkt maar zelfs beter kan verwerkt worden dan in het licht. EMERSEN en ARNOLD kregen bijv. de hoogste efficiency door te werken met 50 lichtflitsen per sekunde, waarvan elke dan slechts het driehonderdste deel van één sekunde duurde. Bij hoger temperatuur moeten voor de hoogste efficiency de donkere perioden korter duren, iets wat er ook weer op wijst dat zich in de donkere perioden een chemisch proces zal afspelen.

Dit alles sluit voortreffelijk in elkaar en we kunnen dus gerust zeggen, dat in grote trekken het assimilatieproces op een dergelijke manier moeten verlopen als hierboven werd geschetst, het blijft evenwel nog de vraag hoe het chemisme in details gebeurt.

Eén punt moet nog nader besproken en dat is de rol van de levende materie, het protoplasma bij dit alles. Het is nl. herhaaldelijk geprobeerd de assimilatie in vitro te laten geschieden met behulp van belichte chlorophylsuspensie en het enzym katalase. Hoewel soms beweerd is, dat er dan assimilatie te konstateren was, mag men toch wel zeggen, dat dit resultaat nooit bestand

bleek tegen ernstige kritiek. Hoogst waarschijnlijk houdt dit verband met de kardinale kwestie, waarop ik nog niet nader inging, nl. in welke toestand en vorm het chlorophyl in de bladgroenkorrels aanwezig is.

We zagen reeds, dat blijkens de fluorescentie het chlorophyl in opgeloste toestand zou moeten verkeren maar de grote moeilijkheid is, dat de absorptiestrepen van het chlorophyl in het levende blad niet overeenkomen met die in welk oplosmiddel ook.

De verklaring wordt tegenwoordig in deze richting gezocht, dat het chlorophylmolekuul aan de ene kant met zijn phytylgroep gebonden is aan de lecithinen van het protoplasma en anderzijds met zijn kern geadsorbeerd is aan de eiwitten ervan. Juist die bindingen zouden een absoluut vereiste zijn voor de assimilatie zodat deze in vitro niet zou plaats hebben. STOLL gaat zelfs zóver, dat hij dit geheel vergelijkt met een enzym. De opvatting van enzymen is immers, dat zij opgebouwd zijn uit een werkende groep, het zgn. agon, dat gebonden is aan een kolloide eiwitdrager, het pheron. Wanneer men probeerde een enzym steeds verder te zuiveren en te concentreren en daarbij drager en werkend agens gescheiden had, bleek de werkzaamheid steeds vernietigd te zijn.

Het chlorophylmolekuul zou dan het agon zijn, het protoplasma het pheron en het geheel dus een photosynthetische katalysator. Slechts in die kombinatie zou photosynthese kunnen plaats hebben, waardoor narkotica, die de adsorptie van het agon opheffen, reeds om die reden de assimilatie zouden remmen, zelfs wanneer ze in uiterst kleine koncentraties voorhanden zijn. Door zo de assimilatie van het levende protoplasma afhankelijk te denken laat zich begrijpen de parallele invloed die allerlei faktoren op assimilatie en ademhaling uitoefenen, beide processen zijn dan immers funkties van hetzelfde levende protoplasma.

Op deze wijze wordt dus de koolstofassimilatie geplaatst in het kader van het hoofdstuk enzymsynthesen, maar hierover moet ik iets uitvoeriger zijn.

Oorspronkelijk kende men in vitro slechts de splitsende werking van de enzymen. Wanneer men evenwel bedenkt, dat enzymwerking betrekking heeft op evenwichtsreakties en dat een katalysator niets anders doet dan een reaktie versnellen, die zonder hem slechts uiterst langzaam zou verlopen, dan kan een enzym geen invloed hebben op het eindpunt van de reaktie; dit wordt immers door de massawerkingswet van GULDBERG en WAAGE bepaald. Laat ik dit met een voorbeeld toelichten: met behulp van het enzym invertase wordt een rietsuikeroplossing gesplitst in glukose en fruktose. Gaat men echter uit van een mengsel van zuiver glukose en fruktose en voegt daaraan invertase toe, dan wordt hier door het aanwezige enzym rietsuiker gevormd, al is het in slechts zeer kleine hoeveelheid. Het eindpunt van de reaktie ligt nl., hoe ook het uitgangspunt is, steeds bij een mengsel van 99 % glukose en fruktose en 1 % rietsuiker.

Onder bepaalde kondities van milieu en temperatuur kunnen dus in vitro synthesen tot stand gebracht worden. Dit bewijst het gebruik ervan in de techniek, o.a. voor de vorming van vetten.

Dit brengt ons tot het tweede hoofstuk, de vorming van eiwitten in de plant. Ook dit is een hoofdstuk van de voedingsphysiologie, dat van algemene betekenis mag genoemd worden. Evenzeer als de mens voor zijn voeding met koolhydraten afhankelijk is van de plant, evenzeer is dit het geval wat betreft de eiwitvoeding. Mens en dier kunnen geen eiwitten uit de grondstoffen opbouwen, al zijn zij wel in staat uit de grote brokstukken van reeds opgebouwde eiwitten weer nieuwe te vervaardigen.

Voor de vorming van die eiwitten in de plant zijn in de eerste plaats nodig de produkten van de koolstofassimilatie, die wij zo juist bespraken. Daarnaast zijn evenwel ook onmisbaar anorganische verbindingen, die de elementen stikstof en zwavel bevatten, welke verbindingen als waterige oplossingen uit de grond moeten opgenomen worden. Over de zwavel is weinig bekend, ik zal mij dus beperken tot de stikstofverbindingen.

De wortel neemt met zijn wortelharen water en daarin opgeloste stoffen op en het zijn de nitraten en ammoniumverbindingen uit de bodem, die als grondstoffen voor de eiwitopbouw moeten dienen. Gewoonlijk meent men, dat de nitraten geschikter zijn dan de ammoniumzouten maar dat is niet geheel juist, in bepaalde omstandigheden, bij zwak zure reaktie bijv. zijn de laatste even-goed bruikbaar.

We moeten ons niet voorstellen, dat dit binnendringen in de wortel te vergelijken is met het filtreren van een nitraat of ammoniumzoutoplossing door filtreerpapier, waarbij de opname van zout en water gaat in dezelfde verhouding als zij in de oplossing aanwezig zijn. De levende wortelharen worden naar buiten toe niet slechts begrensd door de celwand, die in doorlaatbaarheid niet zo veel van filtreerpapier verschilt, maar ook door het half doorlaatbare levende protoplasma.

De opneming van zouten is een gekompliceerd physiologisch proces:

1° kan uit zeer verdunde oplossingen het zout in sterkere mate opgenomen worden dan het water.

2° wordt het meer en meer aannemelijk, dat de levende cel die opneming uitvoert ten koste van arbeidsvermogen, dat door de ademhaling wordt geleverd.

Zijn die nitraten eenmaal opgenomen, dan blijkt hun weg te vervolgen langs de houtvaten tot ze in de parachymcellen van het blad gekomen zijn. Daar worden ze verwerkt, welke verwerking weer via ammoniak schijnt te verlopen, maar waarvan de details nog onbekend zijn.

De Russische plantenphysioloog PRIANISCHNIKOW heeft ammoniak terecht genoemd, alpha en omega van de eiwitstofwisseling; uit ammoniak worden de eiwitten opgebouwd, tot ammoniak worden ze afgebroken. Daar echter ammoniak een vergif voor de cel is, moet de $NH_3$ groep direct worden vastgelegd in een onschadelijke vorm en als zodanig doet bij de meeste hogere planten dienst de

asparagine. Deze ontleent haar naam aan de in het donker uitlopende aspergeloten, waarin zij het eerst is gevonden, maar evengoed is zij te vinden bij zaden, die in het donker kiemen.

De vraag is nu, spelen de enzymen, die eiwitten splitsen, ook een rol bij de opbouw ervan in de levende cel.

Reeds lang kent men in de dierlijke stofwisseling dergelijke eiwitsplitsende enzymen zoals de pepsine, die de splitsing in onze maag uitvoert. Daar gebeurt het bij een zure reaktie, in de darm daarentegen is de reaktie zwak alkalisch en werkt dan ook een ander enzym o.a. de trypsine. Vroeger was men nu van mening, dat deze enzymen ook in de stofwisseling van de planten een rol moesten vervullen, maar dit bleek onjuist. Er zijn wel pepsineachtige enzymen bij de insektenetende planten maar in de gewone eiwitstofwisseling werkt het enzym papaine en wel bij een neutrale reaktie. De Indische vrucht, Carica papaya was de eerste waarin men die papaine ontdekte, maar spoedig bleek, dat zij ook in andere planten aanwezig was. De eiwitsplitsende werking van die papaine werd nu het voorwerp van onderzoek en het bleek, dat hierbij de medewerking van een zgn. aktivator onmisbaar is. Dit is een van die stoffen, die ook wel ko-enzymen worden genoemd, wier aanwezigheid een conditio sine qua non is voor de werking van het eigenlijke enzym. Gescheiden van het enzym, zijn zij echter niet tot splitsing van het eiwit in staat. Merkwaardig was nu, dat deze aktivator slechts in gereduceerde toestand werkzaam is, iets wat een geheel nieuw licht werpt op de kondities waaronder de eiwitomzettingen in de plant zich zullen voltrekken.

Tot voor kort beschouwde men de aanwezigheid van ammoniak enerzijds, van koolhydraten anderzijds als hoofdzaak bij de eiwitsynthese; waar deze in voldoende hoeveelheid aanwezig waren, zou automatisch eiwitvorming plaats grijpen.

De Duitsche plantenphysioloog MOTHES betoogt evenwel, dat dit lang niet altijd het geval is en dat de spanning van de zuurstof veeleer de allesbeheersende faktor wezen moet. Bij lage zuurstof-

spanning wordt het ko-enzym gereduceerd en zodoende tot aktivator van de eiwitafbraak; bij hoge zuurstofspanning daarentegen wordt de aktivator voor de eiwitsplitsing onwerkzaam en gaat de eiwitsynthese overwegen.

De beschouwing werpt een heel ander licht op allerlei verschijnselen; de koolstofassimilatie is dan voor de eiwitvorming niet alleen van belang door de gevormde suikers maar ook door haar zuurstofproduktie, die automatisch de eiwitsynthese bevordert. 's Nachts als door de ademhaling de zuurstof gebonden wordt, daalt hiervan de spanning en overheerst dus de eiwitafbraak; het allang bekende feit wordt nu pas duidelijk. Zo wist men reeds lang, dat in verwelkende blaren eiwitafbraak optrad; nu is dit aldus in te zien, dat bij verwelken zich de huidmondjes sluiten en zo gebrek aan zuurstof optreedt, daar dan immers ook de assimilatie stop gezet wordt en alle beschikbare zuurstof door de ademhaling wordt gebruikt.

Al is veel hiermee opgehelderd toch blijven er nog genoeg vragen met betrekking tot de eiwitsynthese over; o.a. of de straling ook direkt invloed erop uitoefent, indirekt natuurlijk wel door de vorming van de koolhydraten. Onlangs is nu bij een onderzoek van de Hr. KABOS in mijn laboratorium gebleken, dat er van een direkte invloed van de gewone lichtstralen geen sprake is. Wel hebben ultraviolette stralen van bepaalde lengte, b.v. die stralen van de hoogtezon, die door een dun glasplaatje gegaan zijn, een begunstigende invloed; ten minste indien de dosis zeer kort wordt toegediend, anders overheerst de schadelijke werking.

Dat dit alles voor de landbouw van groot belang zal kunnen blijken, spreekt wel van zelf, maar er is nog iets anders waarop ik tenslotte nog wilde wijzen.

Door deze beschouwingen van MOTHES over de eiwitsynthese wordt er een band gelegd tussen allerlei physiologische processen, eiwitsynthese en afbraak enerzijds, transpiratie, koolstofassimilatie en ademhaling anderzijds. Wat vroeger onafhankelijk scheen te

verlopen, wordt nu tot een samenhangend geheel, er treedt een koördinatie op van allerlei processen.

En dit is nu volgens moderne beschouwingen juist het kenmerkende van de levensprocessen. „Zijn is veranderen" zegt de dichter VERWEIJ ergens en dat is een treffend woord, ook voor den physioloog. Het kenmerkende van een levend organisme is, dat er zich voortdurend processen in afspelen, die elk op zich zelf met physisch-chemische processen te vergelijken zijn. Maar al die processen zijn tijdens het leven onderling verbonden, geschakeld in een ingewikkeld netwerk, waarvan het patroon soort en individu kenmerkt. Dat gekoördineerde is het wat leven van niet-leven onderscheidt. Dat ook op het gebied van hedenavond dit geldt, hoop ik U te hebben getoond.

# HORMONEN

door

PROF. DR. S. E. DE JONGH.

---

De samenwerking van de verschillende organen in ons lichaam wordt gewaarborgd door het zenuwstelsel, bestaande uit een centrale massa (ruggemerg en hersenen) en een systeem van tot bundels vereenigde, geleidelijk zich afsplitsende draden, die berichten geleiden naar deze centra en bevelen overbrengen naar de organen.

Indien b.v. een dier iets eetbaars bespeurt, gaan berichten dienaangaande van zijn netvlies of reukorgaan langs de zenuwen naar de hersenen. Vandaar worden commando's afgezonden, wederom langs de zenuwen, naar verschillende richtingen; zij hebben tengevolge, dat het dier zich naar het voedsel toebeweegt, dat zijn maag vocht gaat afscheiden enz.

Een bericht zoowel als een commando beweegt zich langs de zenuwen als een zgn. *prikkel*, een energieoverdracht van plaats tot plaats, die na zijn eindpunt te hebben bereikt een energetisch onevenredig effect kan hebben. De aard van dit effect hangt nl. niet af van den prikkel, doch uitsluitend van het orgaan, dat door de betreffende zenuw verzorgd wordt. Spieren gaan zich samentrekken of verslappen, klieren gaan hun product (producten) secerneeren, het stofwisselingspeil daalt of stijgt. De prikkelgeleiding langs de zenuw verloopt geïsoleerd, is dus in elk afzonderlijk geval gericht op een of meer bepaalde organen. Had de prikkel een anderen weg gekozen dan zouden andere en elders gelocaliseerde reacties het gevolg geweest zijn.

In den loop der tijden is gebleken, dat het lichaam nog over een tweede wijze beschikt om, als gevolg van een toestandsverandering in één orgaan, de functies van andere organen te wijzigen. Het eerste orgaan kan nl. *stoffen* aan de circulatie afgeven, die langs de bloedbaan door het geheele lichaam zwerven en eveneens als prikkel kunnen dienen. Een orgaan, waarvoor het maken van dergelijke stoffen de hoofdverrichting beduidt, heet een klier met interne secretie, de stoffen zelf noemt men hormonen. De gerichtheid van den prikkel schuilt bij een hormoon niet in de isolatie van zijn baan — deze ontbreekt —, doch in het beperkte aantal organen dat op een bepaald hormoon kan reageeren. De zenuwprikkel komt alleen daar, waar hij moet werken; het hormoon komt overal, werkt echter alleen daar waar de vereischte prikkelbaarheid aanwezig is. Een afgezaagde, doch duidelijke analogie doet zich voor met eenerzijds de telegraphie (stelsel van onderling geïsoleerde draden) en anderzijds de radio (vrije uitzending in de ruimte, opvangen alleen door de daarop ingestelde ontvangstations).

Dikwijls worden in het lichaam beide methoden van berichtgeving gecombineerd: een klier met interne secretie wordt b.v. door een zenuwprikkel tot een hooger functiepeil gebracht, waarna het geproduceerde hormoon in het lichaam gaat circuleeren.

De ontdekking der hormonen dateert uit de negentiende eeuw, hoewel sommige teekenen hunner werkzaamheid reeds voor eeuwen moeten zijn opgemerkt. Het is en was toch een verspreid gebruik huisdieren, vooral mannelijke, te castreeren, dat is operatief van hun kiemklieren te berooven, teneinde tammere werkdieren of malscher slachtvee te verkrijgen. Aan dit gebruik dankt de Nederlandsche taal een aantal zelfstandige naamwoorden (ruin, os, hamel, berg, kapoen, waarmede aangeduid worden de gecastreerde broeders van hengst, stier, ram, beer en haan), waarvan het niet duidelijk is of ze volgens de spelling-Marchant mannelijk zijn.

Inderdaad, deze dieren hebben hun mannelijkheid verloren, waarmede heel wat meer gemeend is dan het verlies van zaadproductie met als gevolg de onmogelijkheid van voortplanting. Reeds uit boven omschreven bedoeling, die bij het castreeren voorzat, blijkt genoegzaam hoe diep het verlies der geslachtsklier in het organisme ingrijpt: niet slechts blijven of worden alle typisch mannelijke organen en kenmerken klein, doch ook op gebieden, die oogenschijnlijk niets met het geslachtsleven te maken hebben, ondervinden de dieren den terugslag van den ingreep, vooral als die op jeugdigen leeftijd wordt uitgevoerd. Het dier wordt dan grooter, neigt tot vetafzetting, is minder wild en het vleesch smaakt beter; de levenskans wordt er echter niet door verminderd. Het is duidelijk, dat de mannelijke gonade of kiemklier (testikel) nog een andere functie heeft dan het produceeren van zaadcellen en wel één die terugslaat op het gansche individu. Van welken aard deze verrichting is, bleek, nu bijna een eeuw geleden, uit proeven van BERTHOLD, die aanvankelijk niet anders deed dan wat voor hem bij hoenderkweekers reeds gebruikelijk was, n.l. het castreeren van een aantal hanen, waarna de gebruikelijke reeks van verschijnselen viel waar te nemen: kleiner worden van kam en lellen, ophouden van kraaien, treden en vechtlust, weelderig worden van het veerenkleed, neiging tot vetzucht. Toen de dieren in dit stadium gekomen waren plantte BERTHOLD onder de huid testikels van andere hanen in en zag in de gevallen waar het implantaat vastgroeide, weer gewone hanen uit de kapoenen ontstaan, onder het begrijpelijk voorbehoud, dat vruchtbaarheid uitbleef, daar de nieuw verworven testikels niet in open verbinding met de afvoerwegen van het mannelijk zaad staan. BERTHOLD leidde hieruit terecht af, dat het vermogen om bij hanen kam en lellen te doen groeien, kraaien, treden en vechtlust te voorschijn te roepen, veerenkleed en vetafzetting binnen de perken te houden, schuilt in een of meer stoffen, die door de testikels worden gemaakt en via de bloedbaan aan het lichaam afgegeven. Immers op geen

andere wijze kan verklaard worden, dat de op een willekeurige plaats ingegroeide klier, die noch met de afvoersystemen, noch met de zenuwen van de vroeger weggenomen testikels contact kan gekregen hebben, het beschreven deel der gonadefunctie zoo volledig kan overnemen.

De zoojuist bedoelde stoffen zijn geen andere dan die wij tegenwoordig hormonen noemen. Weliswaar kan men bij BERTHOLD nog niet van de ontdekking der hormonen spreken — hij had immers nooit een hormoon in de hand —, doch hoogstens van een postuleering van hun bestaan, maar het is duidelijk, dat de grondslag der hormonenleer door hem werd gelegd. Hoe verbaasd zou hij opkijken, indien hij thans een blik kon slaan op het onafzienbaar feitenmateriaal, dat in korter dan een eeuw en eigenlijk alleen in de tweede helft daarvan, op dit gebied werd bijeengebracht! Talrijke organen in het lichaam, klieren zonder afvoerbuizen, waarvan vroeger de functie onbekend was (schildklier, epitheellichaampjes, bijnieren, hersenaanhangsel,) bleken als hoofdverrichting het afscheiden van een of meer hormonen te hebben. Van andere, (zwezerik, epiphyse) wordt dit op min of meer goede gronden verondersteld. Nog andere (geslachtsklieren, buikspeekselklier) paren een uitwendige afscheiding aan de productie van hormonen. Aan hun gezamenlijken invloed ontsnapt nagenoeg geen functie van het lichaam en de hormonen zijn voor het tot stand brengen van de harmonische samenwerking der organen onderling, dus voor de regulatie der lichaamsverrichtingen, de erkende concurrenten van het zenuwstelsel geworden.

De stofwisseling, in het bijzonder van koolhydraten en vetten, de bloedsdruk, het gehalte aan Calcium, Phosphorus, ureum enz. van het bloed worden alle door hormonen geregeld; het peil onzer intelligentie, karakter en psychische gesteldheid, ja zelfs het erotisch leven zijn er evenzeer van afhankelijk als de ontwikkeling en de bouw van talrijke organen.

Er bestaat dan ook geen twijfel of de leer der hormonen, de

endocrinologie, heeft haar stempel gedrukt op de geheele physiologie, waardoor onze inzichten omtrent het onderling samenhangen van de functies, zelfs der belangrijkste organen, groote wijzigingen en verbeteringen hebben ondergaan.

De belangstelling voor endocrinologie bleef echter niet tot de beoefenaars der physiologie beperkt; maar sloeg over op kringen van pharmacologen, toen hormonen waardevolle geneesmiddelen bleken te zijn. Daar nl. geen grove verschillen bestaan tusschen de overeenkomstige hormonen van verschillende dieren, is hun toediening, ook bij verwerving uit vreemde bron, aangewezen in alle gevallen, waarin de produceerende klieren van het zieke lichaam te kort schieten. Het kan dus geen verwondering baren, dat endocrinologische onderzoekingen met evenveel vuur in pharmacologische als in physiologische laboratoria worden uitgevoerd.

De toediening van hormonen aan patiënten, bij wie een tekort wordt verondersteld of bewezen is, is dan ook een zeer gebruikelijke therapie geworden, waarvan het bekendste voorbeeld is de moderne behandeling der suikerziekte met insuline. Daarnaast kan men tegenwoordig ook de bijnierschors-functie substitueeren bij de zgn. ziekte van ADDISON, die van de schildklier o.a. bij sommige kropziekten, die van de epitheellichaampjes en ten deele ook de de functies van het hersenaanhangsel en der kiemklieren.

Het substitueeren van een ontbrekend hormoon is echter niet de eenige indicatie, die de hormonen in de practische geneeskunde gevonden hebben. Zij beïnvloeden nl. niet alleen allerlei lichaamsfuncties, doch verhoogen of verlagen ook de productie van de overige klieren met interne secretie. Het ligt in sommige gevallen reeds binnen onze macht om met hormonen therapeutisch in te grijpen in die gevallen, waar de ziekte schuilt in de *overproductie* van een of andere klier met interne secretie.

Zoo is men er in geslaagd de overmatige productie van een schildklierhormoon door toediening van een ander hormoon uit de

zelfde klier te beperken, terwijl een teveel aan functie van de voorkwab van het hersen-aanhangsel door een geslachtshormoon bleek te kunnen worden belet.

Eindelijk zijn door het onbevangen bestudeeren der hormoonpharmacologie vele werkingen aan het licht gekomen, die men naar wensch kan benutten, zonder daarmede een normaal lichamelijk gebeuren na te bootsen. Indien de chirurg een weinig adrenaline (afkomstig uit het bijnier-merg) toevoegt aan de oplossing, die de plaatselijke verdooving van het te opereeren gebied moet bewerkstelligen, dan bereikt hij daarmede in dit gebied een sterke vaatvernauwing. Dit maakt bloedloos opereeren mogelijk en verlangzaamt het wegvlieden van het anaestheticum, twee belangrijke voordeelen, die echter nauwelijks verband houden met de physiologische werking van het bijniermerg-hormoon, waarvan de patient geenszins verondersteld wordt een tekort te bezitten.

Nog een groep van practische toepassingen der hormonenleer, ditmaal buiten de therapie gelegen, moge hier vermelding vinden: de hormoonbepaling in de urine als hulpmiddel der diagnostiek. Vele hormonen worden nl. regelmatig door de nieren uitgescheiden, zoodat onder zeker voorbehoud het gehalte van de urine een maatstaf is voor het peil van het bloed. Een moderne en veel toegepaste methode voor diagnostiseeren van zwangerschap bv. is gegrond op het verhoogde gehalte der urine aan een hormoon, dat de geslachtsklier tot rijping brengen kan. Spuit men geringe hoeveelheden urine van een zwangere vrouw in bij laboratoriumdieren vóór de puberteit dan treedt deze binnen een paar dagen in, wat op verschillende wijze zichtbaar te maken is. Daar deze reactie ons toestaat reeds in de allereerste weken een zwangerschap met bijna 100 % zekerheid vast te stellen, is zij voor de medische practijk van groot belang, en dat niet slechts ter bevrediging der nieuwsgierigheid van lieden, die den niet specifiek Haagschen ooievaar beminnen of vreezen.

Ook daar waar de endocrinologie vooralsnog niet tot een nieuwe

therapie of tot een verscherping der diagnostiek heeft geleid, is haar invloed op de kennis der pathologie zeer groot geweest, doordat zij een aantal tot dusver duistere ziektebeelden begrijpelijk heeft weten te maken. Sommige zoogenaamde ouderdomskwalen bv. schijnen indirect samen te hangen met den achteruitgang in de endocrine functie der kiemklieren. Bij een er van, de bij bejaarde mannen frequente prostata-hypertrophie (ziekelijke vergrooting van de voorstaander-klier) zijn overigens reeds geslaagde pogingen met hormonen-therapie te boeken, terwijl in het dierexperiment ook andere ouderdomsverschijnselen reeds met hormonen te bestrijden bleken. De mogelijkheid eener kunstmatige verjonging, doch dan niet operatief (STEINACH!, VORONOFF!), doch door hormoonbehandeling, is in een niet verre toekomst verwezenlijkbaar te achten.

Na de practische beteekenis der hormonen voor de samenleving te hebben toegelicht, willen wij wat nader ingaan op de eigenlijke onderzoekingen en de daaraan verbonden moeilijkheden. De meeste kennis omtrent de besproken materie dateert van de laatste vijftien jaar. In dit korte tijdsverloop zijn door experimenteel onderzoek zoo tallooze feiten aan den dag getreden, dat het niet alleen zinloos zou zijn te trachten ze hier te refereeren, doch zelfs voor den ingewijde nagenoeg hopeloos is ze in onderling verband te blijven zien of ook maar volledig te leeren kennen. Het mag verbazingwekkend genoemd worden, dat men binnen eenige jaren in staat gebleken is zoo veel nieuwe hormonen te ontdekken en op hun werking te onderzoeken, vooral indien men bedenkt, dat het ontsluieren van de functie van een endocrine klier nagenoeg gelijk staat met het oplossen van één vergelijking met twee onbekenden.

Indien men redenen meent te hebben te vermoeden, dat een orgaan met onbekende functie een klier met interne secretie is, dan kan men door chemische extractie beproeven het hormoon resp. de hormonen eruit in oplossing te verkrijgen en vervolgens

door inspuiting bij proefdieren een onderzoek naar de werking instellen. Het aantal bruikbare extractiemiddelen is echter even onbegrensd als de soorten van mogelijke werkingen, die slechts zelden van zoo grof morphologischen aard zijn, dat ze zonder meer in het oog vallen. Meestal heeft men dan ook tevoren door het bestudeeren van dieren, waarbij het betreffende orgaan langs operatieven weg verwijderd was, zich een indruk verschaft omtrent de uitvals-verschijnselen, die dan een aanwijzing kunnen leveren aangaande de vermoedelijke werking van het nog onbekende hormoon. Implantaties, die deze uitvals-verschijnselen behooren te doen verdwijnen, kunnen den zoo verworven indruk verstevigen. Er zijn echter eenige klieren, waarvan de exstirpatie slechts met groote moeite bewerkstelligd kan worden (hersenaanhangsel!) en andere (zwezerik), waarbij ze geen in het oog vallende gevolgen had.

Indien dergelijke voorproeven een bruikbare uitkomst opgeleverd hebben, hangt de kans van slagen bij het zoeken naar het eigenlijke hormoon verder grootendeels af van het bestaan eener biologische methode, waarmede de werking niet slechts aangetoond, doch liefst quantitatief vervolgd kan worden. De zoogenaamde pharmacologische ijking is niet alleen noodig als bron van inlichtingen voor den chemicus, die tastenderwijs extractie- en zuiveringsproeven uitvoert, maar dient tevens als eenig mogelijke grondslag voor de therapeutische doseering zoo lang het hormoon niet in volmaakt zuiveren vorm kan worden afgeleverd. De leer der ijking of standaardiseering heeft zich dan ook in de laatste decenniën tot een afzonderlijken tak van wetenschap ontwikkeld, waarop hier niet nader zij ingegaan.

Een voorbeeld moge toelichten, hoe de genoemde factoren het tijdstip van de ontdekking van een hormoon kunnen bepalen. Ruim een halve eeuw geleden ontnamen Von Mehring en Minkowski aan honden de buikspeekselklier (alvleeschklier), teneinde de oorzaak van vertering van vet in den darm te bestudeeren.

Door de oplettendheid van een stalbediende kwam aan het licht, dat zulk een hond met de urine suiker uitscheidde; door vernuftige proeven van MINKOWSKI werd de productie van een koolhydraat-reguleerend hormoon door de alvleeschklier indirect bewezen. De suikerziekte gold voortaan als een gevolg van het in onvoldoende mate aanwezig zijn van een alvleeschklier-hormoon, doch elke poging om deze stof in handen te krijgen en daarmede de geopereerde honden te genezen faalde gedurende tientallen jaren. Pas toen micromethoden voor bloedsuiker-onderzoek waren uitgedacht en men de vermoede bloedsuikerverlagende werking der extracten in serieproeven bij normale konijnen kon vervolgen, kwam de ontdekking van het hormoon, het thans zoo bekende insuline, binnen eenige jaren tot stand. De aanvankelijk nog primitieve ijking op het konijn bleek conditio sine qua non, niet slechts voor de ontdekking, doch meer nog voor de verdere zuivering die thans wel als volledig mag worden aangemerkt. Als tweede voorbeeld zij gewezen op het bijniermerg-hormoon, adrenaline, dat zeer vroeg ontdekt werd, wat zeker verband houdt met het feit, dat men reeds van oudsher beschikte over middelen om de meest in het oog loopende werking ervan, de bloedsdrukverhooging, op het spoor te komen.

Een der grootste moeilijkheden bij het zuiver bereiden der hormonen wordt merkwaardigerwijze geleverd door hun sterke biologische werkzaamheid. Meestal zijn onderdeelen van milligrammen voldoende om nog duidelijk effect te geven. De baarmoeder van jonge vrouwelijke ratten bijv. verdubbelt binnen tien dagen in gewicht bij een dagdosis van 1/100.000.000 gram vrouwelijk hormoon! Dit beduidt, dat elk organisch uitgangsmateriaal het hormoon slechts in sporen kan bevatten en het werk van den chemicus is dan ook een aanvankelijk hopelooze strijd tegen de alles overheerschende verontreinigingen. Elke reinigingsmethode gaat immers met verliezen gepaard en deze addeeren zich tijdens de eindelooze herhaling en afwisseling der

chemische ingrepen, zoodat men bij het voor het eerst zuiver bereiden van een nieuw hormoon over een bijna ongeloofelijke massa te extraheeren klieren moet beschikken, om weegbare hoeveelheden over te houden. De Amsterdamsche ontdekker van het mannelijk hormoon, DAVID, bleek voor het vervaardigen van 1 gram zuivere stof uit te moeten gaan van 30000 Kg. testikels. Indien dan ook niet de pharmaceutische industrie overal in de wereld het belang van een en ander voldoende had ingezien om dergelijke onderzoekingen mogelijk te maken, zouden vele hormonen nog langen tijd onontdekt gebleven zijn.

Gelukkig bleek steeds de chemische methode achteraf in sterke mate vatbaar voor verbetering van opbrengst, wanneer het hormoon eenmaal met zekerheid gevonden en de bijbehoorende ijking naar behooren uitgewerkt was. Daardoor is het mogelijk geworden, dat sommige hormonen in volmaakt zuiveren vorm in het groot geleverd kunnen worden, dat volledige chemische analyses konden worden verricht, die tot het bepalen van hun structuur-formule hebben geleid en dat daarna synthetische of althans semi-synthetische bereidingen konden worden uitgevoerd. Gelukkig behoeft men echter met het invoeren van een hormoon in de therapie niet te wachten tot dit alles voltooid is, daar de verontreinigingen bijna steeds zonder storende beteekenis voor den mensch zijn.

Een andere moeilijkheid bij het hormoononderzoek ondervonden, schuilt in de veelvuldigheid van hormonen, die vaak door een enkele klier worden afgescheiden. Het spreekt wel vanzelf, dat men aanvankelijk de uitvals-verschijnselen, die na verwijdering van een klier ontstaan, heeft willen toeschrijven aan het ontbreken van een enkele voor die klier typische stof. Meestal echter bleken het er later twee of meer te zijn, die in de extracten in alle denkbare combinaties of afzonderlijk plegen voor te komen, wat het maken van gevolgtrekkingen zeer in den weg staat. Sommigen vervielen in het andere uiterste en beschreven elken nieuw ontdekten

invloed van een klier of extract als het gevolg van een nieuw ontdekt hormoon, waarbij dan later niet zonder moeite twee of meer werkingen tot een enkele stof moesten worden teruggebracht. De meeningen over dit alles fluctueeren dan ook met den dag, al staat het wel vast, dat met name het hersenaanhangsel zeker meer hormonen vervaardigt dan het celsoorten bevat. Deze klier neemt dan ook tot op zekere hoogte een centrale positie in in het endocrine systeem, van waaruit o.a. de functie der meeste overige klieren kan worden aangezet.

Deze en andere moeilijkheden, benevens de snelle ontwikkeling der hormonenleer, maken haar tot een der minst stabiele natuurwetenschappen. Boeken over dit onderwerp geschreven zijn verouderd voor het uiteindelijk verbeteren der drukproeven, vandaar dat ik heden meer over inzichten dan over feiten heb gesproken. Het lijdt echter wel geen twijfel of er staan ons, indien de ontdekkingen in het huidige tempo voortgaan, nog groote verrassingen te wachten, niet slechts op zuiver natuurwetenschappelijk gebied, maar ook wat betreft de practische toepassing bij den mensch. Reeds thans zijn levensreddende behandelingen mogelijk met behulp van hormonen (suikerziekte, ziekte van ADDISON, tetanie enz.), terwijl operaties er overbodig door worden (gebrekkige indaling der testikels bij jongetjes). De toekomst schijnt schier onbegrensde mogelijkheden te bieden.

Het is wellicht niet misplaatst een woord van waardeering te wijden aan de arbeidsmethode, waaraan wij dit alles te danken hebben en zonder welke nagenoeg de geheele leer der hormonen terra incognita zou zijn gebleven: het experimenteeren op dieren. De veldtochten, die daartegen worden ondernomen, worden deels gegrond op overschatting van den ernst van de bij de dieren plaats hebbende ingrepen en van de veronderstelde wreedheid der proefnemers, deels op onderschatting der practische uitkomsten, die uit den aard der zaak ook de diergeneeskunde ten goede komen. Men zij verzekerd, dat het lijden van het dier ook ons ter harte gaat, het lijden van den mensch echter nog meer.

Indien ik er in geslaagd mocht zijn U, voor zoover nog noodig, eenig denkbeeld bij te brengen omtrent het behandelde onderwerp, dan zal de volgende omschrijving van het hormoonbegrip — en daarmede wil ik eindigen — thans meer dan in den aanvang voor U toegankelijk zijn:

Hormonen zijn stoffen die op bepaalde plaatsen in het lichaam gevormd, met de bloedsomloop naar verwijderde plekken gevoerd worden en daar morphologische, functioneele of psychische veranderingen te voorschijn roepen. Zij kunnen dit in uitermate kleine hoeveelheden t.w. onderdeelen van milligrammen. Het hormoon-karakter van een stof is bewezen, indien zij niet slechts uit een bepaald orgaan met onschuldige chemische methoden kan worden afgezonderd, doch bovendien op een van de oorspronkelijke plek verwijderde plaats in het lichaam opnieuw kan worden aangetoond, terwijl toediening van het verkregen extract aan dieren, die de overeenkomstige klier missen, bepaalde uitvalsverschijnselen moet kunnen opheffen.

# TELEVISIE

door

Dr. BALTH. VAN DER POL.
Natuurkundig Laboratorium der N.V. Philips' Gloeilampenfabr.
Eindhoven/Holland.

---

In Nederland is tot nu toe de televisie nog niet organisatorisch ingevoerd, ofschoon, dank zij o.m. de uitgebreide onderzoekingen in Eindhoven, de techniek gereed is. Laten wij eerst even kort de revue laten passeeren, hoe het in andere landen staat met de televisie.

In de U.S. is de techniek vrijwel klaar en wacht de invoering van televisie nog slechts op maatregelen, die nauw verband houden met de organisatie van de omroep in Amerika, die grootendeels bekostigd wordt door adverteerders, hetgeen typische moeilijkheden met zich brengt. In Duitschland vinden op min of meer geregelde tijden televisie-uitzendingen plaats en konden de Olympische spelen voor een deel per televisie worden gevolgd. Ook in Frankrijk worden thans proefuitzendingen gehouden en de British Broadcasting Corporation geeft in Engeland zijn luisteraars geregeld tweemaal per dag één uur televisie-programma.

In Nederland is een commissie ingesteld onder voorzitterschap van Oud-Minister Terpstra, welke de mogelijkheden van de invoering van televisie alhier bestudeert. Maar afgezien van de organisatorische vraag, die bij de invoering van televisie zich voordoet, zijn er natuurlijk nog tal van andere kwesties ter onderzoeking, zooals de keuze der programma's en, .... niet in het minst de tegenwoordige technische mogelijkheden.

Bezien wij thans de groote lijnen van de verschillende gebeurtenissen bij een televisie-uitzending.

De gedachte, die aan de televisie ten grondslag ligt, is dezelfde, die wij bij de film aantreffen. Echter, en daarop zou ik met nadruk willen wijzen, bij het in Eindhoven gevolgde televisiesysteem maken wij, in tegenstelling met andere systemen, *geen* gebruik van een z.g. tusschenfilm.

Deze grondgedachte is de volgende: terwijl bij een gewone studiofilmopname alle bewegingen der handelende personen in werkelijkheid natuurlijk continu verloopen, maakt een gewoon filmapparaat gedurende elke seconde van de scène 24 à 25 korte momentopnamen. Later, bij de weergave in de bioscoop, worden snel achter elkaar deze 24 à 25 momentopnamen op het doek geprojecteerd. Daarbij krijgt het oog de indruk van continue-bewegingen der spelenden.

Slagen wij er bij de televisie derhalve in om, evenals bij de gewone film, per seconde 25 beelden over te seinen, dan hebben wij ons doel bereikt.

Het probleem reduceert zich dus tot de vraag: Hoe kan men langs radioweg in 1/25 deel van een seconde een beeld overzenden, dat met behulp van een fotografische lens in de studio op een lichtgevoelig scherm is geprojecteerd?

Laat ik direct vooropstellen, dat de korte duur van 1/25 seconde, die wij slechts beschikbaar hebben om één zoo'n momentopname over te zenden, in het algemeen geen bezwaar oplevert, omdat wij *electrisch* zeer *snel* kunnen werken. In het PHILIPS televisiesysteem beweegt zich nl. slechts *electriciteit* en *geen materie*, dus geen draaiende schijven of spiegels of dergelijke.

Omdat wij volledig electrisch werken, vormt de snelheid, waarmede alles moet gebeuren, geen beletsel. Ook het feit, dat wij hier *licht* moeten uitzenden i.p.v. *geluid*, zooals bij de gewone radio, baart geen fundamenteele moeilijkheden, omdat wij immers de z.g. *photocel* hebben, die licht omzet in electrische stroomen, evenals

de microfoon dit doet voor geluid. Neen, het fundamenteele verschil ligt in het feit, dat bij het geluid alles slechts *na elkaar* komt en wij daarbij derhalve met één afmeting te doen hebben, in tegenstelling met een beeld, dat *twee* afmetingen heeft, nl. lengte en breedte.

Om nu in de beschikbare 1/25 seconde één compleet beeld over te seinen, reduceeren wij door een kunstgreep de twee afmetingen van het beeld tot één afmeting. Hoe dit gaat, kan ik het beste met een gedachte-experiment duidelijk maken, waarbij ik er direct reeds Uw aandacht op wil vestigen, dat wij gebruik maken van wat men in Engeland het „interlaced"-systeem noemt, hetgeen men zou kunnen vertalen door „geïnterlinieerde beeld-analyse".

Stel wij hebben één van de 25 momentopnamen, die wij per seconde moeten overseinen. Wij gaan nu als volgt te werk: wij knippen in gedachten deze foto in 405 lange smalle horizontale strooken, van boven af genummerd 1, 2, 3, . . . . enz. Wij plakken nu aan het einde van strook 1 het begin van strook 3, aan het einde van strook 3 het begin van strook 5, enz., totdat wij strook 405 hebben gehad, en daaraan plakken wij dan weer strook 2, dááraan strook 4, dááraan strook 6 . . . . enz., tot en met strook 404. Op die manier hebben wij het geheele beeld getransformeerd tot één zeer lange band. De strooken zijn zóó smal gekozen, dat wij kunnen zeggen, dat er alleen nog maar licht- en donker-variaties zijn in de lengte van de band en niet meer in de breedte. Aldus hebben wij van de foto van twee afmetingen bij benadering een *lijn* gemaakt van één afmeting. Wij kunnen nu, evenals bij de geluidsradio-— alleen moet bij de televisie alles veel sneller gebeuren — in 1/25 seconde deze lange band, als het ware, door de zender laten loopen, die dan afwisselend sterke en zwakke golven uitzendt àl naardat het betreffende deel van de band licht is of donker. De snelheid, waarmede deze band, gegeven de beschikbare tijd voor één beeld van 1/25 seconde, door het apparaat zou moeten gaan, is enorm groot en bedraagt 7500 km/uur.

Dit is in principe ongeveer, wat er in de *zender* gebeurt. Wenden wij ons thans tot de *ontvanger*. Door de ontvanger zouden wij met gelijke snelheid als dat bij de zender gebeurt, een blanco papieren band kunnen laten loopen, waarop de ontvanger de momenteele sterkte van de ontvangen golven op de een of andere manier afdrukt, waardoor wij bij de ontvanger een volledige replica krijgen van de zenderband. Snijden wij daarop de ontvangen band in stukken precies even lang als de oorspronkelijke strooken bij de zender waren, en plakken wij deze stukken onder elkaar, wederom in de volgorde 1, 3, 5 . . . . 403, 405, 2, 4, 6 . . . . 402, 404, dan krijgen wij derhalve bij de ontvanger precies hetzelfde beeld als waarvan wij bij de zender uitgingen; en onze opgave van het overbrengen van één beeld is gelukt. Wanneer wij ditzelfde procédé 25 maal per seconde met de opvolgende momentopnamen herhalen, hebben wij dus met dit gedachte-experiment, in principe althans, de televisie opgelost.

Het zal duidelijk zijn, dat bij het beschreven gedachte-experiment de scherpte en de details van de beelden in hooge mate zullen afhangen van de smalheid van de overgeseinde banden, of, m.a.w., van het aantal lijnen of banden, waarin wij het beeld verdeelden. Dit komt, doordat de zender elk moment immers slechts de, in de breedte gemiddelde, helderheid van de band kan overseinen. Hoe grooter derhalve dit aantal lijnen is, hoe scherper het beeld zal uitvallen.

Ons beeld is verdeeld in 405 lijnen, en wij hebben niet de volgorde 1, 2, 3 . . . . 404, 405 gekozen, doch de geïnterlinieerde methode gevolgd, omdat hierdoor het zoo onaangename flikkeren van het beeld praktisch geheel verdwijnt. Het hooge lijnenaantal van 405, dat natuurlijk bijzondere technische moeilijkheden met zich bracht, maar tegelijk de groote beeldscherpte geeft, is wel het grootste, waarmede tot nu toe, waar ook, is gedemonstreerd.

Ik kom nu terug op het gedachte-experiment, waarbij wij, ter illustratie van de uiteenlegging van een beeld in lijnen, dit beeld in gedachten in strooken knipten. Precies zóó gebeurt het natuurlijk niet bij de zender. Wat er werkelijk gebeurt, is evenwel in principe daaraan geheel analoog.

In de studio is nl. een iconoscoop of electrisch oog opgesteld, dat de plaats inneemt van de microfoon of het electrisch oor bij de gewone radiozender. Op een speciaal geprepareerd scherm in deze iconoscoop (een uitvinding van de Russische Amerikaan ZWORYKIN) wordt met een fotografische lens een beeld gevormd van de uit te zenden scène. Op dit lichtgevoelige scherm van de iconoscoop bevinden zich ongeveer 5.000.000 onderling goed geïsoleerde kleine mosaic elementen, bestaande uit de lichtgevoelige stof caesium, d.w.z. elk zoo'n mosaic element zendt meer of minder electronen uit, al naar de verlichting die er op valt. Omdat deze elementen alle van elkaar geïsoleerd zijn, nemen zij daarbij een meer of minder groote positieve lading aan, méér wanneer zij liggen in een licht deel van het beeld en minder wanneer zij vallen in een donkerder deel van het beeld. Voorts bevindt zich in deze iconoscoop een z.g. electronenkanon, dat een zeer fijne bundel van electronen uitzendt; deze electronenstraal laten wij nu langs electrische of magnetische weg zigzagsgewijze het geheele beeld gedurende 1/25 seconde in strooken afzoeken. Op het moment, dat deze electronenstraal zoo'n geladen caesiumdeeltje treft, zal het zich ontladen en een kort stroomstootje veroorzaken, dat sterker is naarmate het deeltje meer geladen was en zich dus in een lichter deel van het beeld bevond.

Aldus worden de donker- en licht-variaties van elk van de opeenvolgende strooken van het beeld vertaald in snel veranderende stroomen. Vervolgens worden deze stroomen versterkt en op de zender gemoduleerd, precies op dezelfde wijze als wij dat gewoon zijn met de microfoonstroomen bij de gewone omroep.

Het is interessant, daarbij op te merken, dat op deze wijze elk

geïsoleerd mosaic-elementje telkens bij het er over zwaaien van de electronenstraal slechts ongeveer 10.000 electronen ontvangt, inderdaad een zeer kleine lading. Het is dan ook niet te verwonderen, dat wij bij het werken met deze uiterst kleine iconoscoopstroompjes aangeland zijn in het gebied der Brownsche beweging, waarbij, als gevolg van de warmtebeweging van de moleculen en electronen, de natuur zelf een grens stelt aan de nauwkeurigheid en verdere vervolmaking van het experiment.

Gelukkig echter ligt deze natuurlijke begrenzing juist voorbij het punt, waarbij goede televisiebeelden mogelijk zijn.

Bij de *ontvanger* is een z.g. Braunsche buis of kathodestraaloscillograaf opgesteld, dat is een luchtledige buis, voorzien van een scherm, bedekt met een substantie, die licht geeft, zoodra er electronen op vallen. In deze buis kunnen wij een fijne, overigens onzichtbare, electronenstraal, precies in de pas met het aftasten van het beeld bij de zender, een rechthoekig deel van het scherm eveneens zigzagsgewijze laten beschrijven.

Wanneer er niet uitgezonden wordt, zien wij de rechthoek op het scherm van de ontvanger flauw verlicht. Zoodra er echter wordt uitgezonden, wordt in de ontvanger de sterkte van deze electrische straal in de Braunsche buis dooor de binnenkomende golven volkomen geregeld. Zijn de golven op een moment sterk, dan wordt ook de straal sterker en doet hij dàt deel van het scherm in de ontvangbuis oplichten, waarop, op dat moment, de straal gericht is. Komt een oogenblik later de golf zwakker aan, correspondeerende met een donkerder deel van het uitgezonden beeld, dan wordt ook de electrische straal in de ontvangbuis zwakker en wij krijgen dus een donkerder beeldpunt weergegeven.

Natuurlijk is het van het grootste belang, dat bij de ontvanger de electrische straal in de Braunsche buis precies in de pas blijft met het aftasten van het beeld bij de zender en bovendien de lijnen in dezelfde volgorde worden beschreven, opdat de beeld-

*synthese* in de ontvanger geheel beantwoordt aan de beeld-*analyse* bij de zender. Bijvoorbeeld moet ook elke lijn bij de ontvanger nauwkeurig even lang duren als bij de zender. Gebeurt dit alles niet precies synchroon en sprong b.v. de ontvanger telkens maar één millioenste van een seconde te vroeg naar een volgende regel, dan zouden wij reeds een verteekend beeld ontvangen. Immers, dit zou er mede overeenstemmen, dat wij bij de beschreven gedachteproef de lange ontvangen band in iets te korte stukken doorknipten, voordat wij deze onder elkaar plakten en het is duidelijk, dat men dan een verteekend beeld zou krijgen.

Deze nauwkeurige synchronisatie van de ontvanger met de zender, en voorts de preciese verdeeling van één beeld in juist 405 lijnen, geschiedt met behulp van *relaxatietrillingen*. Over deze trillingen had ik de eer en het genoegen, U in 1930 een voordracht te houden onder de titel: *„Periodische verschijnselen in de natuur"*. Deze trillingen betreffen een periodisch gebeuren, dat men op tallooze gebieden in de natuur aantreft en waarvan de karakteristiek sterk afwijkt van de zooveel bestudeerde sinus-trillingen. Zij hebben een speciaal onderzoekgebied uitgemaakt, zoowel theoretisch als experimenteel, in het laboratorium in Eindhoven. Voorbeelden daarvan vindt men b.v. in de hartslag in de hydrodynamica, aerodynamica en het behoeft geen betoog, dat de uitgebreide studie, die wij van te voren hadden gemaakt van de relaxatietrillingen, zeer te stade kwam, toen de tijd rijp was voor de ontwikkeling van een goed televisiesysteem. Ik overdrijf dan ook niet, als ik zeg, dat de studie met mijn medewerker, den Heer VAN DER MARK, die wij gemaakt hadden van de menschelijke hartslag, ons niet onbelangrijk geholpen heeft bij de constructies van de televisie; en een moderne televisiezender en -ontvanger zijn niet denkbaar zonder een uitgebreide toepassing van deze relaxatietrillingen.

De belangrijkste eigenschap van deze relaxatietrillingen is wel de gemakkelijkheid, waarmede zij zich automatisch synchroni-

seeren onder de invloed van een op een relaxatiesysteem werkende periodische storing; d.w.z. zij passen zich gemakkelijk in hun frequentie aan aan een periodische invloed van buiten en zij nemen dan automatisch de frequentie over van deze periodische invloed. En niet alleen synchroniseeren zij met de van buiten opgedrukte frequentie, maar zelfs met onderharmonischen daarvan; d.w.z. als een vaste trilling van buiten van een frequentie 300 trillingen per seconde werkt op een relaxatiesysteem, dat zelf wil trillen, ruw in de buurt van 300 $sec^{-1}$, dan zal het nauwkeurig ook met 300 $sec^{-1}$ gaan trillen. Wil het echter zelf trillen ruw in de buurt van 150 $sec^{-1}$, hetgeen een onderharmonische is van 300 $sec^{-1}$, dan zal het relaxatiesysteem nauwkeurig op 150 $sec^{-1}$ zich instellen. Men kan dus met relaxatietrillingen onderharmonischen voortbrengen, iets, wat op geen andere wijze tot nu toe gelukt is.

Rest mij nog een enkel woord te zeggen over het gebruik bij de televisie van de golven van 7 *meter*. Wij noemden reeds de groote snelheid, waarmede alles bij televisie moet gebeuren. Daar wij 25 beelden in één seconde moeten overseinen en elk beeld in 405 strooken uit elkaar gelegd wordt, hebben wij voor elke beeldstrook minder dan 1/10000 seconde beschikbaar. Gedurende deze 1/10000 seconde moeten wij nog alle details van de strook overseinen. De langere radiogolven zijn voor dit alles te log en wij moeten onze toevlucht nemen tot de veel beweeglijker korte golven. Deze groote snelheid brengt mede, dat wij een breed frequentiespektrum noodzakelijkerwijze te onzer vervoeging moeten hebben. De zijbanden van de Eindhovensche televisiezender zijn elk 3.000.000 trillingen per seconde breed en deze frequentieband is veel wijder dan alle omroepbanden tezamen. Om het populair te zeggen: wij nemen dus met één televisiezender meer „ruimte in de aether" in dan alle omroepzenders in Europa. Dit is de reden, waarom wij bij moderne televisiezenders gebruik moeten maken van golven van de orde van 7 meter.

Intusschen brengen deze het nadeel mede, dat zij bij lange na niet zoo vèr dragen als de langere golven van de gewone omroep, zoodat het door een televisiezender bestreken gebied véél kleiner is dan bij de gewone omroep.

Dit is trouwens reeds gebleken bij de omroepproeven van de zijde van het Philips laboratorium te Amsterdam genomen, einde 1930, met golven van 7.85 meter. Toen was de zender geplaatst op een toren van het Carlton Hôtel: de verste rapporten kwamen binnen van Haarlem en Heemstede. Een hooge plaatsing blijft intusschen ook voor een televisiezender van het grootste belang, omdat de reikwijdte sterk toeneemt met de hoogte van de zender.

Het is thans zeer wel mogelijk, een stad als Amsterdam of Den Haag met behulp van één zender, in de stad of in de directe omgeving geplaatst, van televisie te voorzien, maar geheel Nederland zou meerdere zenders vragen. Wèl kan men televisiebeelden langs kabels zenden naar een tweede zender, maar daarbij zijn speciale kabels noodig van een zeer bijzonder type, zooals er thans in Holland nog geen enkele is gelegd. Een mogelijkheid van het overbrengen van televisie-signalen naar een tweede (relais) zender bestaat verder per ultra korte golf gerichte radio, analoog aan de in Eindhoven ingerichte kortegolf-telefonieverbindingen naar Nijmegen en Tilburg.

Intusschen is de theorie van de voortplanting van televisiegolven over een bolvormige aarde uitvoerig onder handen genomen. De berekeningen zijn hier zeer gecompliceerd, maar wij hebben ze, in samenwerking met Dr. BREMMER, door kunnen voeren tot praktische resultaten. Uit de theorie volgt, dat de vaak verkondigde sage, dat de zender niet verder zou kunnen reiken dan tot de optische horizon, geheel onjuist is.

De groote verzwakking met de afstand van een televisiezender, zoo blijkt uit de theorie, is veel meer te wijten aan de absorptie van de electrische energie in de aardkorst dan aan het zich onvoldoende buigen van de golven om de aarde, wat aan de andere

kant toch niet wegneemt, dat op groote afstanden, zooals die van Eindhoven naar Den Haag, de aardkromming van domineerende invloed is.

Incidenteel bleek halverwege dit theoretische onderzoek over de voortplanting van de golven om de aarde, dat wij en passant een nieuwe theorie van de *regenboog* hadden ontwikkeld, want ook dáár hebben wij te doen met golven, die op een bol vallen, nl. het licht op waterdruppels, en ook dáár is de golflengte klein ten opzichte van de omtrek van een bolletje.

En, evenals bij het theoretisch onderzoek van relaxatietrillingen, waaruit bijv. een nieuw aspect van de hartslag volgde, en zonder het zèlf te realiseeren, voorbereidend werk werd gedaan voor televisie kwamen ook bij de theorie van de voortplanting van televisiegolven over de aarde nieuwe gegevens over de regenboog te voorschijn.

Dit zijn voorbeelden van hoe een theoretisch onderzoek soms tot onverwachte conclusies voert.

En ik wil dan ook besluiten met een veelbeteekenend woord met diepe zin, geuit door den Engelschen mathematicus en philosoof BERTRAND RUSSELL, die zeide:

„A mathematician is never so happy as when he does not know what he is talking about".

# ULTRAKORTE GELUIDGOLVEN EN HARE TOEPASSINGEN

door

MEVR. DR. G. L. DE HAAS-LORENTZ

---

De ultrakorte geluidgolven bestaan evenals de gewone geluidgolven uit periodiek opeenvolgende verdichtingen en verdunningen van het ponderabele medium, waarin zij zich in longitudinale richting voortplanten met een voortplantingssnelheid, die onafhankelijk is van hunne frequentie. Van de gewone geluidgolven onderscheiden zij zich alleen in zooverre, dat hun frequentie d.i. hun aantal trillingen per sec. zoo groot is, dat zij door ons oor niet als geluid kunnen worden waargenomen. Deze gehoorgrens ligt wat boven 20.000 tr. p. sec., is echter niet voor ieder hetzelfde, vandaar dat bij een onderzoek naar het gehoor ook het onderzoek naar deze bovenste gehoorgrens behoort. De eerste ultra geluidgolven werden dan ook met het oog op dit onderzoek voortgebracht. Men gebruikte hiertoe korte orgelpijpjes, z.g. Galtonpijpjes, waarvan men de frequentie uit de afmetingen afleidde (1883). Dergelijke pijpjes zijn, in eenigszins gewijzigden vorm zooals aangegeven door EDELMANN, nog in gebruik bij oorartsen. EDELMANN voerde hier ook in de voor het meten der golflengte van gewone geluidtrillingen algemeen gebruikte methode van KUNDT.

Langzamerhand werden meerdere methodes ingevoerd om ultragolven op te wekken.

Zoo gaf LEBEDEW als eerste het denkbeeld aan gebruik te maken van de heen en weergaande electriciteitsbeweging, welke plaats vindt in een electrische vonk. Met deze beweging gaat in ieder

punt van de vonkbaan een door de periodieke verhitting veroorzaakte uitzetting van de lucht gepaard. Deze plant zich in de omgeving voort als een geluidgolf. Deze sterft echter even spoedig uit als de electriciteitsbeweging in de vonk. Daarom heeft men later de vonk vervangen door een Poulson-lichtboog, waarin tusschen de beide polen van den boog een ongedempte heen en weergaande electriciteitsbeweging plaats vindt. Bij deze methode kan men de frequentie van de ultrageluidtrilling, die 2 × zoo groot is als die van den wisselstroom in de lichtboogketen, gemakkelijk bepalen uit de constanten van deze keten en bovendien geleidelijk veranderen.

Een methode, nu nog vaak gebruikt, wanneer men ultragolven van groote intensiteit wil hebben, zonder dat het noodig is de frequentie precies te kennen is die, waarbij men uit een vat, waarin zich een vloeistof bevindt onder overdruk, deze uit een nauwe opening laat stroomen met een snelheid grooter dan die van het gegeluid. In de omgeving van den vloeistofstraal treden nu periodieke verdichtingen en verdunningen van de lucht op, die aanleiding geven tot het ontstaan van ultragolven, wanneer men op de geschikte plaats een resonator voor deze golven plaatst.

Ook moge nog de volgende proef vermeld worden. In een buis die van buiten met metaal bekleed is bevindt zich een vloeistof. In deze vloeistof is een metaalelectrode gestoken. Tusschen deze electrode en het metalen bekleedsel van de buis brengt men een wisselende electrische spanning aan. Men neemt dan verwarming waar van de vloeistof, welke veroorzaakt blijkt te zijn door de trillende beweging, waarin het vloeistofoppervlak geraakt. Deze beweging, waarbij „staande" rimpels gevormd worden, moet zijn ontstaan danken aan de wisselende veranderingen die de capillaire krachten door de wisselspanning ondergaan. Deze trillingen doen in de lucht er boven ultrageluidgolven ontstaan. Ook hier heeft men de bepaling en de geleidelijke verandering van de frequentie in zijn hand.

Aanleiding tot de groote toename van belangstelling voor de ultragolven was het voorstel van den Engelschman RICHARDSON, gedaan na de ramp van de Titanic, om onderzeesche obstakels als ijsbergen, onderzeebooten, ondiepten, op te sporen met behulp van ultrakorte geluidgolven. Al sinds langen tijd werden voor het looden van de diepte van vaarwater geluidgolven gebruikt in een echomethode. (Alle electromagnetische trillingen hebben een te groote snelheid voor deze methode). Behalve hun geluidloosheid hebben voor dit doel de ultragolven dit op de gewone geluidgolven vóór, dat zij beter gericht kunnen worden. Men zal nl. slechts dan een goed gerichte golf krijgen, wanneer het trillende oppervlak, dat zijn beweging op de lucht of het water moet overbrengen, groot is in vergelijking met de golflengte van de golven in de lucht of het water. Laat men de ultragolven zich door water voortplanten, dan kan men de frequentie niet zoo groot nemen, als men wil, daar met deze de absorptie toeneemt. Frequentie's tusschen 30.000 en 50.000 tr. p. sec. bleken aan voldoende kleine golflengten in het water (5 tot 3 cm.) te beantwoorden en toch zoo weinig geabsorbeerd te worden dat zij op afstanden van 100 K.M. nog goed waarneembaar waren.

RICHARDSON nu wekte de golven op met behulp van waterorgelpijpjes en richtende parabolische reflectoren. Vele onderzoekingen met medewerking van de Engelsche regeering gedaan leverden echter geen goede resultaten op. In het begin van den wereldoorlog merkte de Franschman LANGEVIN op, dat de voor onderzee-doeleinden meest geschikte ultragolven juist de frequentie's hadden welke optraden bij de trillingen van een stuk piëzokwarts.

Het verschijnsel der piëzoelectriciteit, in 1880 ontdekt door PIERRE en JACQUES CURIE, is het volgende:

Een kwartskristal (ook sommige andere stoffen vertoonen deze eigenschap), bezit behalve zijn optische as O nog een z.g. electrische as E. die loodrecht op O staat. Wanneer men het kristal aan een

electrische spanning evenwijdig aan E onderwerpt, gaat hiermee samen, naar gelang deze spanning de eene of de tegengestelde richting heeft, een verlenging of verkorting in de E richting, èn een verkorting of verlenging in een richting loodrecht op E en op O. Plaatst men een kwartsplaatje zoodanig tusschen de platen van een condensator, dat deze loodrecht op E staan, dan zal een wisselspanning tusschen de condensatorplaten het kwartsplaatje in een elastische trilling in de E-richting brengen. Wanneer een der condensatorplaten van een opening voorzien is, kan het kwarts zijn trilling op het omgevende medium overdragen. Om de trilling van het kwartsplaatje eenigszins aanmerkelijk te maken kiest men voor de frequentie, de z.g. eigen-frequentie van het plaatje. Dit is die frequentie, waarmee het plaatje uit zou trillen, wanneer het één oogenblik uitgerekt was. Dit is een frequentie, die bij het plaatje, hoort en van het materiaal en de dimensie's afhangt. Zoodra de frequentie van de wisselspanning deze waarde heeft, zal het plaatje véél sterker gaan trillen, dan wanneer dit niet het geval is. Men moet zich wel tot deze frequentie beperken, want hoewel voor het opwekken van een voldoend sterke ultragolf in het water het vlak van het kwarts slechts verplaatsingen van eenige tienduizenden van een mm behoeft te ondergaan, zijn hier zonder het meetrillen te hooge spanningen voor noodig.

Het verschijnsel is wederkeerig. D.w.z. wanneer door mechanische oorzaken het kwartsplaatje in genoemde richting in trilling gebracht wordt, zal hierdoor een wisselende spanning in de E-richting en daardoor een wisselstroom in de electrische geleiding, die de 2 condensatorplaten verbindt, ontstaan.

Hierdoor kan men piëzokwarts als zender en als ontvanger gebruiken. Treffen ultragolven in de juiste richting een stuk piëzokwarts dan zullen zij dit in longitudinale elastische trilling brengen. Hierdoor wordt in de condensatorketen een wisselstroom opgewekt, die weliswaar uiterst zwak is, maar met behulp van triodenversterkers waarneembaar kan gemaakt worden.

Van deze eigenschap der piëzokristallen gecombineerd met de mogelijkheden die de versterkingsinstallatie's bieden maakten LANGEVIN en CHILOWSKI gebruik tot de constructie van hun „echolood".

Dit òf het Duitsche „Atlas-echolot", zijn op alle groote schepen aanwezig. Naar gelang men afstandsmetingen in vertikale, horizontale of schuine richting ermee wil verrichten zijn zij aangebracht in den bodem of in den zijwand van het schip. Zoo kan het gebruikt worden voor dieptebepalingen, voor het opsporen van onderzeebooten, ijsbergen of scholen visschen, voor het binnenkomen van havens bij mist of in oorlog, als de lichten gedoofd zijn.

In het toestel van LANGEVIN-CHILOWSKI wordt de uitgezonden ultragolf opgewekt door dat men den condensator waartusschen zich het piëzokwarts bevindt eerst laadt en zich dan laat ontladen. Deze slechts kort durende ultragolf wordt, na terugkaatsing, tegen den bodem of ander obstakel weer op hetzelfde piëzokwarts opgevangen en wekt een stroom op in dezelfde keten, waardoorheen ook de ontlading van den condensator plaats vond. Een lichtwijzer, die zich langs een schaalverdeeling beweegt, geeft een uitwijking telkens wanneer een stroom door de keten gaat. De schaal is zoo ingericht, dat men als diepte van den te meten afstand afleest den afstand tusschen 2 zulke „tandjes".

Het Duitsche „Echolot" berust op het verschijnsel der magnetostrictie, dat zich als volgt laat beschrijven.

Met de magnetisatie van een ferromagnetisch staafje in de lengterichting gaat een lengteverandering in deze zelfde richting gepaard, welke van zin wisselt met het teeken der magnetisatie. Wekt men een wisselende magnetisatie op door het staafje te omwikkelen met een geleiddraad, waardoor een wisselstroom gaat, dan voert het staafje een elastische lengtetrilling uit, die verreweg het grootst is, wanneer de frequentie's van wisselstroom en vrije trilling van het staafje gelijk zijn en die door de zoo noodig verbreede eindvlakken van het staafje in het omgevende medium een ultratrilling opwekken.

Ook dit verschijnsel is reciprook. Wanneer een er opvallende ultragolf het staafje in elastische lengtetrilling brengt, ontstaat hierdoor een wisselende magnetisatie van het staafje en daardoor een wisselstroom in de keten, waarvan de omwikkeling van het staafje deel uitmaakt, welke wisselstroom door een versterkingsinrichting waarneembaar gemaakt kan worden. Dit verschijnsel vindt toepassng in het genoemde „Echolot". Ook hier maakt men gebruik van den wisselenden ontladingsstroom van een condensator. De teruggekaatste golf wordt hier niet op hetzelfde, maar op een tweede magnetostrictiestaafje opgevangen. De afstand of diepte wordt op een dergelijke mnaier afgelezen als in het toestel van LANGEVIN-CHILOWSKI.

De frequentie's gebruikt in de practische toepassingen zijn niet zeer groot, tenminste niet, wanneer men hen vergelijkt met de grootste frequentie's die men kan verwezenlijken. Men is n.l. gekomen tot een aantal trillingen van 1.500.000.000 per sec.

Wij willen ons nu wenden tot de bepaling van de golflengte der ultrageluidgolven. Wegens de betrekking: „voortplantingsnelheid ($v$) = aantal trillingen per sec. (n) $\times$ golflengte ($\lambda$)", kan de meting van de golflengte dienen om bij bekendheid van $v$, n of om bij bekendheid van n $v$ te berekenen. Zoo goed als alle bepalingen van $\lambda$ geschieden aan staande golven volgens een of andere methode analoog aan die van KUNDT, welke hier kort in herinnering gebracht moge worden.

Een aan het uiteinde gesloten horizontale glazen buis is aan het andere uiteinde afgesloten door een kurk, waardoorheen een staaf in de buis gestoken is. Deze staaf, die aan het in de buis zich bevindende uiteinde een schijfje loodrecht op zijn lengterichting draagt, wordt door wrijving in elastische lengtetrilling gebracht, welke trilling op de lucht in de buis wordt overgebracht. Deze golf wordt aan het gesloten uiteinde teruggekaatst. Heengaande en teruggekaatste golf vormen samen een z.g. staande golf.

Hierin is op vaste plaatsen in de buis de lucht afwisselend in een toestand van zwakste beweging en grootste dichtheid en van sterkste beweging en kleinste dichtheid. De eerste plaatsen noemt men de knoopen, de laatste de buiken. De afstand van de middens van twee opeenvolgende knoopen is gelijk aan $^1/_2\ \lambda$.

In de buis van KUNDT nu is aangebracht kurkvijlsel, dat oorspronkelijk langs de laagstgelegen beschrijvende lijn van de buis ligt. De staande trilling van de lucht zal het kurkvijlsel in beweging brengen. Bij ophouden der trilling bezinkt het vijlsel weer en vormt daardoor figuren, doordat het in de knoopen op zijn plaats is gebleven, maar overal elders, het sterkst middenin de buiken uiteengespreid is.

Laten we nu enkele methodes nagaan, waarbij het lukt staande ultrageluidgolven op te wekken, en hun knoop- en buikvlakken zoo scherp zichtbaar te maken, dat uit hun afstand $\lambda$ bepaald kan worden. De staande golven maakt men steeds volgens hetzelfde schema.

In een bak in den vorm van een recht parallelopipedum, gevuld met een vloeistof, wekt men met een piëzokwarts ultragolven op evenwijdig aan een der zijvlakken, die men op een reflector, die dezelfde richting als deze zijvlakken heeft, laat terugkaatsen.

Heeft men nu in de vloeistof fijn koolpoeder gesuspendeerd, dan zal dit in de staande golven naar de knoopvlakken gedreven worden en daar „gordijnen" van poeder vormen. Is de richting waarin het kwarts de ultragolven uitzendt horizontaal, dan zullen de knoop- en de buikvlakken vertikaal zijn. Bij ophouden van de trillingen bezinkt het poeder en vormt op den bodem strepen.

Is er in de vloeistof een gas opgelost, eventueel in onzichtbaar kleine belletjes, dan zullen in de staande golf deze belletjes naar de knoopvlakken gedreven worden en zich daar tot grootere, zichtbare belletjes vereenigen en hiervan „gordijnen" vormen.

Ook de knoopvlakken in de zuivere vloeistof kan men door de maximale dichtheid van de vloeistof daar ter plaatse zichtbaar maken door een schaduwbeeld van hen te ontwerpen. Daartoe laat

men, hetzij een aan de knoopvlakken evenwijdige lichtbundel, hetzij een zwak divergente lichtbundel door de vloeistof vallen en vangt een schaduwbeeld van de knoopvlakken op een scherm op.

In een geheel andere optische methode maakt men ervan gebruik, dat de druk in de knoopvlakken grooter is dan in de buikvlakken. Loopen deze weer vertikaal, dan zal door dit drukverschil het vloeistofoppervlak den vorm aannemen van een aaneenschakeling van cylinderlenzen met beschrijvende lijnen evenwijdig aan de knoopvlakken en met de grootste hoogte boven de buikvlakken.

Men maakt nu gebruik van de werking van het zoo gevormde vloeistofoppervlak als een serie cylinderlenzen. Men laat n.l. evenwijdig licht invallen in vertikale richting en plaatst een scherm in het brandvlak der cylinderlensjes. Men neemt dan op het scherm een serie scherpe brandlijnen waar, waarvan de afstand gelijk is aan die tusschen twee knoopvlakken.

In gassen kan men de knoop- en buikvlakken niet zichtbaar maken. Hier kan men echter hun afstand bepalen door hun plaatsen op te zoeken met een of ander toestelletje, dat de maat aangeeft voor de sterkte der luchtbeweging. Hiervoor kan men gebruiken òf een radiometer, die bestaat uit een wiekje aan den arm van een torsiebalans, waarop de trillende lucht een druk uitoefent sterker naarmate de beweging der luchtdeeltjes sterker is, òf een olievliesje, dat meer of minder in trilling gebracht wordt naarmate het zich bevindt in een buik- of in een knoopvlak en waarvan de beweging wordt waargenomen aan de verbreeding van interferentielijnen die het van erop vallend licht ontwerpt, òf een electrische weerstandsdraad, die deel uitmaakt van een keten, waarvan men den weerstand meet, die juist even beneden gloeihitte verhit is en die meer afkoelt en dus meer in weerstand daalt naarmate hij zich dichter bij het buikvlak van de staande golf bevindt.

Met behulp van deze laatste methode kan ook de golflengte in een loopende golf bepaald worden. Men schakelt daartoe twee electrische weerstandsdraden achter elkaar in een keten, waarvan

men den weerstand bepaalt. Deze twee weerstanden worden in de loopende golf geplaatst. Bevinden zij zich op een kwart golflengte afstand van elkaar, dan zal de eene evenveel afgekoeld als de andere verhit worden, zoodat de weerstand van de keten niet verandert.

Opgemerkt moge hier worden, dat de draden sterk verhit moeten zijn. In het geval de draden weinig verhit zijn, overweegt een ander verschijnsel n.l. dat van een weerstandsverandering met de frequentie der ultratrillingen, welk verschijnsel juist in de knoopvlakken het sterkst is.

Tot slot wil ik vermelden een optische methode, waaraan de namen verbonden zijn van BRILLOUIN, DEBIJE en SEARS, LUCAS en BIQUARD. De theorie zou ons hier te ver voeren; wij moeten ons derhalve beperken tot een beschrijving van het verschijnsel.

Men laat een platte ultrageluidgolf zich in een vloeistof voortplanten (hier werkt men dus niet met staande golven). Licht uit een nauwe spleet, die evenwijdig is aan de golffronten, laat men vallen door de vloeistof in een richting evenwijdig aan de golffronten. Op een scherm achter de vloeistof loodrecht op de lichtrichting geplaatst, neemt men nu waar een beeld dat geheel het karakter vertoont met het buigingsbeeld dat men met licht van een nauwe spleet kan ontwerpen. Men ziet n.l. in het midden een beeld van de spleet en aan weerszijden een, twee of meer buigingsbeelden ervan. Deze uitspreiding van het eene spleetbeeld heeft plaats in de richting, waarin zich de ultragolf voortplant. Het aantal buigingsbeelden dat men waarneemt is grooter naarmate de ultragolf sterker is.

Hierin ligt derhalve een middel de sterkte van het trillingsveld, van ultragolven te onderzoeken. Neemt men inplaats van een verlichte spleet als lichtbron een of meer puntvormige openingen, dan ziet men op het scherm achter de vloeistof van iedere opening een beeldje, met aan weerszijden een aantal buigingsbeeldjes. De lijn, waarop deze buigingsbeeldjes van één opening liggen, geeft de voortplantingsrichting van de ultragolf aan. En het aantal dezer

beeldjes is weer een maat voor de intensiteit van deze golf. Op deze laatste wijze is het gelukt een beeld te ontwerpen van de terugkaatsing en breking van een ultragolf aan het grensvlak tusschen twee vloeistoffen.

Ten slotte vraag ik uwe aandacht nog voor een uit natuurkundig oogpunt uiterst belangrijk gebruik van de ultrageluidgolven.

Zoowel theorie als experiment leeren, dat de voortplantingssnelheid van geluidgolven niet van hun frequentie en slechts van den aard van het medium afhangt. Zij is evenredig met den wortel uit het quotient van de SW bij constanten druk gedeeld door die bij constant volume. Het is dan ook uit de voortplantingssnelheid van het geluid, dat men deze breuk veelal bepaalt. Ook variatie's van het quotiënt met de temperatuur (slechts voor ideale gassen bestaan deze niet) komen in deze voortplantingssnelheid tot uiting en kunnen uit haar afgeleid worden. Nu heeft men gemerkt, dat bij toenemende frequentie der ultragolven er bij menig gas een waarde van deze frequentie bestaat, waarbij de voortplantingssnelheid der ultragolven plotseling sterk toeneemt. Een kleine uitweiding moet aan de verklaring van dit verschijnsel voorafgaan.

Verhooging van temperatuur van materie gaat gepaard met toename der kinetische energie der molekulen. Men definieert de absolute temperatuur met behulp van hare evenredigheid van de gemiddelde kinetische energie der molekulen. Voert men warmte aan een lichaam toe dan zal deze bij constant houden van het volume alleen dienen om de temperatuur van het lichaam en dus de kinetische energie zijner molekulen te verhoogen.

Wordt niet het volume doch de druk constant gehouden, dan zal de toegevoerde warmte ook nog moeten dienen om het lichaam bij zijn volumeverandering uitwendigen arbeid te laten verrichten. Daardoor is de soortelijke warmte (d.i. de hoeveelheid warmte die men moet toevoeren om 1 g van een stof 1° in temperatuur te doen

stijgen) bij constanten druk $c_p$ grooter dan die bij constant volume $c_v$. Het verschil, dat door genoemden uitwendigen arbeid veroorzaakt wordt, is minder kenmerkend voor de stof dan $c_v$.

Een plotselinge verandering in de breuk $c_p/c_v$ zullen wij moeten toeschrijven aan een plotselinge verandering van het gedrag van de doorstraalde materie ten opzichte van de er doorheengaande golf. Wij gaan daarom van de veronderstelling uit, dat ten opzichte van deze golf de materie zich plotseling gaat gedragen of $c_v$ een kleinere waarde krijgt. Immers dit zou een vergrooting van de voortplantingssnelheid met zich brengen. Hoe kan men dit zich nu denken?

Zooals gezegd, bestaan geluidgolven in periodieke verdichtingen en verdunningen, b.v. van het gas. Wanneer geen warmte toe of afgevoerd wordt of zooals men gewoonlijk zegt deze verdichtingen en verdunningen adiabatisch geschieden, moeten zij gepaard gaan met stijgingen en dalingen van de temperatuur. Zoo'n temperatuurstijging wordt dan veroorzaakt doordat een molekuul bij botsing tegen een ander de translatie-energie, die het door zijn deelneming aan de beweging in de ultragolf bezit, hieraan overgeeft, terwijl dit tweede molekuul dezen toevoer van energie gebruikt om zijn warmtebeweging te vergrooten. Daar de verandering van de energie der warmtebeweging alleen in bepaalde energieportie's, in z.g. energiequanten kan plaats vinden, kan men ook zeggen: Een adiabatische temperatuurstijging treedt op, wanneer bij een botsing translatie-energie in een warmte energiequant wordt omgezet.

Nu kan een molekuul op verschillende wijzen zijn warmtebeweging uitvoeren. Om deze beweging te beschrijven moet men de verschillende bewegingscomponenten kennen. Hoeveel dit er zijn, hangt van het gas af.

Nu leert ons de wet van de aequipartitie der energie, een der belangrijkste natuurkundige wetten, niet dat bij een bepaalde temperatuur, ieder molekuul dezelfde gemiddelde energie heeft, maar dat bij iedere der op speciale manier gekozen bewegingscomponenten

of zooals men gewoonlijk zegt, bij ieder der graden van vrijheid van een molekuul dezelfde gemiddelde kinetische energie behoort.

Hieruit volgt, dat zoowel de gemiddelde kinetische energie der warmtebeweging, die met de absolute temperatuur evenredig moet zijn als $c_v$ voor een gas met gecompliceerde molekulen grooter zal zijn dan voor een gas met molekulen van eenvoudigen bouw.

Het blijkt nu dat bij toenemende frequentie der ultragolven, hun voortplantingssnelheid plotseling grooter en dus waarschijnlijk $c_v$ plotseling kleiner wordt m.a.w. dat t.o. van deze ultragolf het gas zich gedraagt, alsof zijn molekulen een graad van vrijheid minder hadden.

Dit gedrag kan men verklaren door aan te nemen, dat er voor het ontzetten van translatie-energie in een warmtequant, behoorend bij een bepaalden graad van vrijheid, een bepaalde waarschijnlijkheid bestaat, d.w.z. dat dit slechts gebeurt bij één op de zooveel botsingen.

Wanneer in de ultragolf de tijd tusschen verdunning en verdichting en dus ook tusschen laagste en hoogste temperatuur van het gas zóó klein is, dat in dien tijd niet zooveel botsingen tusschen 2 molekulen plaats vinden, dat bij minstens één van hen een warmtequant uit translatie-energie ontstaat of omgekeerd, dan zal de bijbehoorende beweging van het molekuul niet in actie treden bij de temperatuurverandering en zal $c_v$ naar rato kleiner lijken.

Laat bij de frequentie, waarbij deze sprong van $c_v$ optreedt er in $\frac{1}{4}$ trillingstijd n botsingen plaats vinden; dan zegt men dat het warmtequant, behoorend bij den nu uitgeschakelden vrijheidsgraad van het molekuul, ontstaat of verdwijnt (uit of in translatie-energie) bij één op den botsingen.

Men heeft met het oog op dit verschijnsel den invloed onderzocht van bijmengsels bij een gas. Zoo heeft men b.v. de(n) sprong(en) van $c_v$ nagegaan zoowel in zuiver koolzuur als in koolzuur met bijmengsels van lichtere gassen. Men vond, dat er voor het ontstaan van een warmtequant in het algemeen minder botsingen noodig zijn

van een zwaarder molekuul met een lichter dan met een zelfde even zwaar molekuul. Speciaal de molekulen van een bijgemengd gas, dat met het eerste chemisch kan reageeren, blijken vaak botsingen te vertoonen met de oorspronkelijke gasmolekulen, waarbij voor een voor uitschakeling vatbaren vrijheidsgraad, een warmtequant gevormd wordt. Dit geschiedt zonder dat nog de chemische reactie plaats vindt. Men zou het kunnen aanzien als een voorschaduwing van een chemische reactie.

Hierdoor komen wij aan het gebied der chemie en met een enkel woord wil ik melding maken van de vele verschijnselen, die door bestraling met ultrageluidgolven kunnen versterkt worden. Ik noem: emulsificatie, depolymerisatie, oxydatie, werking op de photo graphische plaat enz.

Deze werkingen zijn echter niet specifiek voor de ultrageluidgolven. Zij zijn toe te schrijven aan oorzaken, die men ook bij andere snelle en dan vaak onregelmatige bewegingen van het medium aantreft, als:

de snelle beweging op zich zelf,

de verwarming hierdoor,

de cavitatie of holtevorming, die optreedt door de vorming van negatieve drukkingen. De hierdoor ontstaande holte'tjes klappen weer dicht, waarbij zeer groote krachten in het spel zijn.

Vooral op het gebied der kolloidchemie beloven de ultragolven een belangrijke rol te gaan spelen.

De werkingen der ultrastralen die men op het gebied der biologie heeft waargenomen schijnen op enkele uitzonderingen na beperkt te zijn tot die gevallen, waarin de op blz. 52 beschreven vorming van belletjes optreedt.

Ook dooden van cellen door de snelle drukwisselingen in een bepaald tempo komt voor.

Het behoeft niet vermeld te worden, dat men op alle mogelijke gebieden met meer en minder succes naar invloeden der ultra-

golven aan het zoeken is, dat men de toestellen waarbij zij reeds gebruikt worden steeds perfectionneert, dat de onderzoekingen zooals die over $c_v$ en die van de quasi-buigingsbeelden steeds voortgezet worden en steeds belangrijker resultaten opleveren.

Kortom ik heb U een blik laten slaan in een gebied dat in ruimen, veelzijdigen zin in de belangstelling staat.

# DE HERKOMST DER METEOREN

door

DR. J. VAN DER BILT.

---

De voortdurend groeiende belangstelling voor den vooruitgang der astronomische wetenschap en het snelle tempo daarvan, heeft de laatste jaren vele boeken het licht doen zien, waarin deze wonderbaarlijke groei met verschillende graden van bevattelijkheid beschreven wordt. Men krijgt daaruit vaak den indruk, dat de astronomen vele van hunne problemen hebben opgelost; men geniet de „Errungenschaften" als onomstootelijk vaststaande feiten. Dit kan een schrijver nauwelijks voorkomen; zou hij ze niet als feiten voorstellen en bij elk onderdeel zeggen dat —, en waarom men het niet zeker weet, dan zou zijn boek ongetwijfeld dik en vervelend worden en voor den niet streng-wetenschappelijk geschoolden lezer alle bekoring missen.

Dit neemt intusschen niet weg, dat op velerlei plaatsen punten en uitroepteekens worden gezien of gedacht, waar vraagteekens hadden moeten staan. Wetenschappelijk onderzoek is een voortdurend verplaatsen van vraagteekens, en dit geldt o.a. ook voor het probleem van de *herkomst* der meteoren.

Het *verschijnsel* is bekend genoeg; in den dampkring der Aarde dringen voortdurend kleine vaste lichamen, die daarin blijkbaar in gloeiing geraken en verbranden en daardoor voor enkele oogenblikken zichtbaar worden. De Aarde in haar geheel krijgt per jaar vele millioenen van dergelijke deeltjes tot een gezamenlijk gewicht van ongeveer 100 000 ton toegevoerd. Zij zijn voor een deel in *zwermen* vereenigd, die het verschijnsel van een sterrenregen kunnen

veroorzaken, maar voor het grootste deel zijn zij enkelingen, ongeregelde, of, met een vakterm „wilde" meteoren.

Behalve deze kleine lichaampjes komen er in den dampkring der Aarde nu en dan ook grootere stukken, die men meteorieten noemt en waarvan het lichtverschijnsel, veel intenser, fraaier, en ingewikkelder dan dat van een meteoor, vuurbol of bolide wordt genoemd. De meteorieten zijn veel minder talrijk dan de meteoren; zij komen niet in zwermen voor, maar nu en dan wel eens in groepen. In 1913 heeft men een stoet van 40 tot 60 meteorieten, in 4 of 5 elkaar op korten afstand volgende groepen, een weg van minstens 10.000 K.M. door onzen dampkring zien afleggen [1]).

Het probleem der meteoren is in hoofdzaak, drieledig: 1°. wat voor lichamen zijn het? 2°. zijn meteoren en meteorieten essentieel verschillende lichamen? 3°. waar komen zij vandaan? Het is misschien wel mogelijk, maar toch niet wenschelijk om de laatste vraag te beantwoorden met voorbij gaan van de beide eerste. Want als men de vraag naar de herkomst wil beantwoorden, moet men toch eerst weten welke gegevens daarvoor beschikbaar zijn. Zijn deze dezelfde voor de beide soorten? Zijn zij talrijk genoeg en voldoende nauwkeurig? Dat de gegevens verschillend zijn voor de beide soorten behoeft nauwelijks betoog; men kan in musea en laboratoria stukken meteoriet van nabij bekijken en onderzoeken, maar niemand heeft ooit een meteoor van nabij gezien.

De hoogte, waarop een meteoor opvlamt (gemidd. 100 K.M.) en uitdooft (gemidd. 80 K.M.), en de lengte van den in den dampkring afgelegden weg (gemidd. 50 K.M.), kan men vinden wanneer hij van verschillende plaatsen uit kon worden waargenomen. Het element van verrassing, de korte duur van het verschijnsel, de moeilijke oriënteering aan den hemel en tal van andere omstandigheden beletten evenwel de plaatsen van opvlamming en uitdooving

---

[1]) Zie voor een beschrijving van deze merkwaardige gebeurtenis o.a. Hemel en Dampkring 22, 63 (1924 afl. 2).

behoorlijk nauwkeurig vast te stellen. De toepassing der fotografie heeft, bij uitzondering, op dit gebied der astronomische werkzaamheid niet gebracht, wat men er van verwacht had. Dit komt, doordat men een te groote hemelstreek moet bestrijken, waartoe een „batterij" van camera's met zeer lichtsterke objectieven noodig is; doordat de platen slechts zeer zelden het begin- of het eindpunt van den door den meteoor aan de sfeer doorloopen weg geregistreerd hebben; doordat de oriënteering van een meteorenspoor op de platen moeilijk en tijdroovend is en doordat de kans op een tweede waarneming, van een andere plaats uit, in de praktijk zéér klein is gebleken.

Voor de vraag naar de herkomst is het minder belangrijk op welke hoogte een meteoor opvlamt en uitdooft, dan wel welke baan hij in de ruimte doorliep op het oogenblik, waarop hij in onzen dampkring zijn noodlot tegemoet ging. Om deze te leeren kennen heeft men 3 gegevens noodig, n.l. de richting van beweging, de snelheid en den afstand tot de Zon; de laatste is natuurlijk bekend, doordat de afstand der Aarde tot de Zon elk oogenblik bekend is. De richting van beweging moet de werkelijke zijn (in de ruimte, niet aan de sfeer), en ook de snelheid moet de werkelijke baansnelheid zijn. De waarnemer die zich bevindt op een planeet, die zich met een snelheid van 30 K.M. per sec. in een voortdurend veranderende richting om de Zon beweegt, ziet noch de werkelijke bewegingsrichting van den meteoor noch zijn werkelijke snelheid; daarvoor zou hij zijn standplaats naar de Zon moeten verplaatsen, met een vakterm gezegd: hij zou het verschijnsel *heliocentrisch* moeten bekijken en niet, zooals hij nu gedwongen is te doen, *geocentrisch*. Tot welke verschillen dit aanleiding kan geven, moge blijken uit het feit, dat als een meteoor recht op ons toekomt, het opvlammen en uitdooven in hetzelfde punt van den hemel geschieden; de waarnemer stelt dan dus een weglengte *nul* en een snelheid *nul* vast, terwijl deze „heliocentrisch" eenige tientallen kilometers bedragen.

Ook zal hij van twee meteoren, die dezelfde snelheid in de ruimte

hebben, maar waarvan de eene de Aarde tegemoet komt en de andere haar inhaalt, zeer verschillende snelheden meten. Dit zou, intusschen, op zichzelf niet zoo erg zijn, want de beweging der Aarde is op elk oogenblik zéér nauwkeurig bekend, en als de geocentrische elementen betrouwbaar zijn, zullen de heliocentrische het ook worden. Maar, zooals reeds gezegd, de schijnbare bewegingsrichting is zeer moeilijk precies aan te geven en de schijnbare snelheid nog veel moeilijker; voor de laatste moet de lengte van den weg gedeeld worden door het tijdsverloop, waarin hij werd afgelegd en dit bedraagt slechts een klein deel van een seconde. Toch kan men over de herkomst der meteoren niets zeggen zonder over hun snelheid te zijn ingelicht, ja, het vraagstuk der herkomst valt of staat daarmede. Want men wil allereerst weten of de meteoren „huisgenooten" of „bezoekers" zijn. Zij zijn, evenals de planeten en de kometen, leden van het zonnestelsel, huisgenooten dus, wanneer zij in gesloten banen om de Zon blijken te loopen, dus in cirkels of ellipsen; zij zijn bezoekers, wanneer zij open banen, dus een parabool of een hyperbool beschrijven. De grens tusschen huisgenoot en bezoeker ligt bij de parabolische snelheid; haar waarde hangt af van de massa der Zon, de massa van den meteoor (die verwaarloosd kan worden), den afstand (a) tot de Zon en de gravitatie constante [1]). Op den afstand Aarde—Zon bedraagt zij 42 K.M. per sec. Een voorwerp dus, dat bij het ontmoeten der Aarde een werkelijke snelheid van 42 of meer kilometers per sec. zou blijken te hebben, zou, als loopende in een open baan, een bezoeker van het zonnestelsel moeten genoemd worden. Een „elliptische" snelheid zou het tot huisgenoot stempelen.

Omstreeks 1865 hebben SCHIAPARELLI in Italië en NEWTON in Engeland een methode aan de hand gedaan om langs indirecten weg, dus zonder de snelheden te bepalen, een waarde te vinden

---

[1]) $V^2 = 2g \frac{M + m}{a}$.

voor het *gemiddelde* bedrag daarvan. Deze methode heet die van de „dagelijksche variatie".

Onderstelt eens, dat de Aarde omgeven is door een homogene wolk van meteoren en zich *niet* om de Zon beweegt. Evenals nu zou men wellicht reeds in de heldere schemering enkele exemplaren van deze wolk kunnen waarnemen en er gestadig meer gaan zien, naarmate het donkerder werd. Zette men het aantal per uur getelde meteoren grafisch af, dan zou men een frequentie-kromme krijgen, die, afhankelijk van den datum, steiler of minder steil verliep, maar haar maximum te middernacht zou hebben, onafhankelijk van de gemiddelde snelheid der meteoren.

Zulk een grafiek wordt echter geheel anders voor een Aarde, die om de Zon loopt en daarbij 30 K.M. per sec. aflegt; haar „achterzijde" zal geen meteoren kunnen opvangen, wanneer hun snelheid de hare niet overtreft. Door de aswenteling draaien wij tusschen Zonsondergang en middernacht van de „achterzijde" weg; tusschen middernacht en Zonsopgang draaien wij naar de „voorzijde" toe.

De grafiek van het aantal meteoren per uur zal daardoor niet alleen geen maximum meer te middernacht vertoonen, maar het tijdstip, waarop zij dit hebben zal, moet *afhankelijk zijn van de gemiddelde werkelijke snelheid* der meteoren. Zoo eenvoudig als deze methode in theorie is, zoo moeilijk is haar toepassing tengevolge van een aantal invloeden, die de uitkomsten kunnen vertroebelen; de belangrijkste onder deze is de wisselende hoogte boven den horizon van het punt, dat aan den hemel de bewegingsrichting der Aarde voorstelt.

SCHIAPARELLI nu vond, dat de meteoren gemiddeld juist de kritieke, parabolische, snelheid hadden, en deze uitkomst voerde, zooals bekend, naar de ontdekking dat de jaarlijks op gezette tijden waargenomen meteorenzwermen in dezelfde banen liepen als eenige, reeds bekende kometen (al deze banen zijn langgerekte ellipsen). Van de meteoren, die tot een zwerm behooren, was het dus zeker, dat zij huisgenooten zijn; van de „wilde" meteoren kon men niets

met zekerheid zeggen, maar men vond het voor de hand liggend, dat ook deze voor huisgenooten gehouden moesten worden. Daar er vele zwermen bekend zijn en slechts 4 daarvan met zekerheid in relatie blijken te staan tot een komeet, werd de uitkomst van SCHIAPARELLI hoe langer hoe meer onbevredigend geacht.

Er is daarom aanleiding om de vraag te stellen, of er inderdaad geen andere gegevens zijn, die ons op het spoor zouden kunnen brengen van den oorsprong der meteoren. Welke samenstelling hebben zij bijv., en hoe ontstaat het lichtverschijnsel? Het eerste is onbekend; het spectrum is continu met een aantal heldere lijnen, die zoo goed als zeker niet van den meteoor, maar alleen van de dampkringsgassen afkomstig zijn, en de chemische samenstelling van een meteoor is dan ook onbekend. Er zijn een paar, tamelijk ruwe, methoden om zijn grootte en de massa te leeren kennen; de uitkomsten loopen nogal uiteen, maar zijn toch van dezelfde orde van grootte, n.l. enkele millimeters voor de middellijn en enkele milligrammen voor de massa. Het is zeer merkwaardig, dat men dergelijke kleine lichamen op een afstand van 100 K.M. ziet oplichten tot een „ster" van de 2de en 1ste grootte!

Omtrent het ontstaan van dit lichtverschijnsel leest men doorgaans „dat de meteoren door den weerstand der lucht in gloeiing geraken." Men weet echter van zulk een weerstand, die van de dichtheid, dus van de temperatuur moet afhangen, héél weinig. Sommigen meenen, dat de temperatuur op een hoogte van 100 K.M. zéér hoog is (25° C.); anderen spreken dit tegen. Tegenover de theorie van den wrijvingsweerstand heeft men na den wereldoorlog aangevoerd, dat de granaat uit het kanon dat in 1918 Parijs beschoten heeft, mutatis mutandis, met een meteoor te vergelijken was en dat bij dezen van een verhitting door den luchtweerstand geen sprake was. Deze granaat bereikte een hoogte van 42 K.M. en had daar een snelheid van 1500 M. per sec. De snelheid van een meteoor is 30 tot 40 maal grooter, maar in zijn gebied is de lucht zooveel ijler, dat de factoren voor de verhitting ongeveer dezelfde moeten zijn. De

granaat kan echter niet merkbaar verhit zijn geworden, want dit zou het ontvlammen van de springstof ten gevolge hebben gehad. Ook de omstandigheid, dat een meteoor geen merkbare snelheidsvermindering ondergaat, maakt het moeilijk het lichtproces als een zuiver verbrandingsproces te zien.

De meeste onderzoekers denken, dat het in hoofdzaak ontstaat door samendrukking en verhitting der dampkringsdeeltjes. Ook heeft men de meening geopperd, dat het van electrischen aard is, er zijn echter weinig gegevens om dit denkbeeld nader uit te werken. Er zijn dus geen physische of chemische gegevens om het vraagstuk van de herkomst te helpen oplossen en men blijft op het criterium der snelheidsmeting aangewezen.

Voor de meteorieten ziet het er iets gunstiger uit. Dat men hier met lichamen van geheel anderen aard te doen heeft, blijkt o.a. uit de meteoorkraters, zooals die in Arizona. Daar deze cirkelvormig zijn, terwijl de meteorieten onder zeer verschillende hellingen het aardoppervlak treffen, danken zij hun ontstaan (evenals granaattrechters) zoo goed als zeker aan een ontploffing der vóór den meteoriet samengedrukte dampkringsgassen. In 1929 heeft de Russische Academie van Wetenschappen een expeditie uitgerust naar een afgelegen gebied in Noord-Siberië, waar 21 jaren tevoren een ramp zou hebben plaats gehad tengevolge van het inslaan van een meteoriet. Zij vond in den moerassigen bodem een aantal trechters, maar geen meteoriet of stukken daarvan. Het bleek intusschen dat er ongeveer 80 millioen boomen geveld waren, volledig over een gebied van 65 K.M. middellijn en gedeeltelijk tot op 30 K.M. buiten den rand daarvan. Het geluid van de ontploffing is nog gehoord op een afstand van 700 K.M., de trilling van de aardkorst werd geregistreerd tot op 900 K.M. en de luchtdruk zelfs door micro-barografen in Engeland. De vuur- en rookkolom was tot op 450 K.M. zichtbaar, hetgeen beteekent, dat hij tot 20 K.M. hoogte, d.i. tot in de stratosfeer, gereikt moet hebben. De bij deze ontploffing ontwikkelde energie moet in staat zijn geweest elke stad met den grond gelijk te maken en er was

voldoende oververhitte lucht om alle inwoners daarvan te dooden.

De meteorieten komen kwalitatief met de aardsche mineralen overeen. Toch kunnen zij niet, zooals men vroeger dacht, door vulkanen op de Aarde of de Maan zijn uitgeworpen. Om op deze wijze de maan te verlaten zou een snelheid van 2.4 K.M. per sec. noodig zijn geweest, om de Aarde te verlaten eene van 11.2 K.M. per sec. Aardsche vulkanen werpen echter voorwerpen uit met snelheden kleiner dan 1 K.M. per sec. Evenmin kunnen de meteorieten stukken zijn van een uiteengesprongen planeet, 1°. omdat de banen dan in, of dicht bij het vlak der ecliptica zouden moeten liggen, wat niet het geval is en 2°. omdat de snelheden dan elliptisch zouden moeten zijn. Het staat echter onomstootelijk vast, dat de meteorieten hyperbolische snelheden hebben en dus stellig bezoekers zijn, en daar zij kennelijk brokstukken zijn, moeten wij er de boodschappers in zien van iets, dat in de stellaire ruimte gebeurd is. Voor het vraagstuk der herkomst is het van belang te weten, of dit kort of lang geleden gebeurd is. De groote kristallen en de grove structuur wijzen op een langzame afkoeling, dus op een hoogen ouderdom, en wel van de orde van duizenden of millioenen jaren. Dit wordt bevestigd door een onderzoek van het heliumgehalte. Radium vervalt in een standvastig tempo en PANETH vond uit 19 meteorieten, die helium gebonden hielden, voor dezen een ouderdom, die in maximo op 2900 millioen jaren te stellen was. Deze leeftijd is van dezelfde orde als die der Aarde en dat zou dus weer voor een aardschen oorsprong kunnen pleiten; maar een aantal overwegingen voert ook voor den ouderdom der sterren ongeveer tot dezen leeftijd, ja zelfs heeft de theorie van het uitdijende Heelal ook daarvoor een tijdschaal van dezelfde orde aangegeven. Zij leert, dat ten tijde van het ontstaan der Aarde, de sterrenstelsels, die wij thans als „spiraalnevels" waarnemen, veel sterker samengedrongen moeten geweest zijn dan thans. Met eenige fantasie kan men zich voorstellen dat uit dezen samengedrongen toestand de uitzetting begonnen is tengevolge van de een of andere gigantische uit-

barsting, een kosmische ramp, zooals de SITTER haar genoemd heeft, die geleid zou hebben tot het ontstaan van ons zonnestelsel en waarvan de meteorieten, nu zij even oud als de Aarde blijken te zijn, nog de „scherven" zouden zijn. Wanneer men deze verklaring onbevredigend acht, moet voorloopig de vraag naar de herkomst der meteorieten onbeantwoord blijven.

Wij keeren nu terug tot de milliarden meteoren, die blijkbaar de Aarde omgeven. Het resultaat van SCHIAPARELLI, dat hun gemiddelde snelheid parabolisch zou zijn, is een wankele uitkomst, zooals zij het jaren lang voor de kometen is geweest. Zij zou beteekenen, dat de „wilde" meteoren voor de helft huisgenooten en voor de andere helft bezoekers zouden zijn. Men heeft daarom in de laatste 15 jaren forsche maatregelen getroffen, om het resultaat van SCHIAPARELLI aan de hand van een grooter en meer betrouwbaar statistisch materiaal te toetsen. Aan dit onderzoek zijn de namen van HOFFMEISTER (Sonneberg) en ÖPIK (Tartu = Dorpat) verbonden. De eerste heeft in 1922 door de methode der dagelijksche variatie voor de meteoren een gemiddelde snelheid niet van 42, maar van 74 K.M. per sec. gevonden, hetgeen beteekent, dat de banen sterk hyperbolisch en de meteoren dus ook ongetwijfeld bezoekers zijn. Dit was een zeer verrassende uitkomst, omdat zij een ander probleem, waaraan men tot dusverre betrekkelijk stilzwijgend voorbij had kunnen gaan, in het brandpunt der belangstelling plaatste. Wanneer de meteoren n.l. niet tot het zonnestelsel behooren, dan behooren zij tot een wolk, die niet deelneemt aan de beweging van het zonnestelsel in de ruimte (in de richting van Hercules, met een snelheid van 20 K.M. per sec.). Dit feit openbaart zich echter nauwelijks in de meteoren-statistiek, wat er op zou wijzen, dat de wolk *ongeveer* met het zonnestelsel zou meeloopen. Erger is, dat dit het fundament van de theorie der dagelijksche variatie zou aantasten (het ontbreken van een voorkeursrichting).

Het is dan ook niet te verwonderen, dat er voor het probleem der

meteoren nieuwe belangstelling ontstond. ÖPIK heeft nu, tijdens een langdurig verblijf aan de Harvard-sterrenwacht bij Boston, voorstellen gedaan en plannen aanbevolen, die geleid hebben tot het door deze sterrewacht organiseeren van een grootscheepsche expeditie naar de hoogvlakte van Arizona, beroemd om haar klimaat en doorzichtige lucht. Zij heeft in 1930 haar arbeid aangevangen en op haar program, naar een denkbeeld van ÖPIK, ook een *directe* meting der snelheden geplaatst. Deze geschiedt met behulp van spiegelfiguren. Een horizontale spiegel rust op 3 pootjes, waarvan er één vast is en twee bewegelijk zijn. Zijn normaal beschrijft daarbij een kegeloppervlak en sterren vertoonen zich als cirkels of ellipsen. De meteoorbanen worden vervormd tot figuren, waarvan de gedaante *vrij sterk afhankelijk is van de snelheid*, zoodat men er in elk geval dadelijk aan kan zien, tusschen welke grenzen de snelheid van den meteoor begrepen is.

De voorloopige uitkomst van deze expeditie is, dat alle tot zwermen behoorende meteoren elliptische snelheden hebben en alle „wilde" meteoren hyperbolische. Het resultaat van HOFFMEISTER van 1922 was hiermede bevestigd. Deze is, sedert dien, een stap verder gegaan en heeft op eenige speciaal daarvoor ondernomen reizen, die zich tot ver op het Zuidelijk Halfrond hebben uitgestrekt, een omvangrijk materiaal verzameld, waaruit hij opnieuw de methode der dagelijksche variatie heeft toegepast. Hij moest, zooals boven gezegd, daarbij een aantal onderstellingen maken en nagaan, welke van deze tot aantallen meteoren en snelheden voerde, die met de uitkomsten der waarnemingen zoo goed mogelijk overeen kwamen. Hoewel, nu aan de methode der dagelijksche variatie de feitelijke grondslag ontnomen is, deze uitkomsten met eenige reserve moeten worden aanvaard, zijn zij toch belangrijk genoeg om vermeld te worden.

HOFFMEISTER dan vindt, dat er een interstellaire wolk van vaste deeltjes is, die ongeveer in het ecliptica-vlak een langzame drift heeft, gericht van den Stier naar de grens tusschen de Weegschaal

en den Schorpioen. Daar de projectie van de beweging der Zon in de ruimte op het eclipticavlak naar den Steenbok gericht is, kan men dus ruwweg zeggen, dat de meteorenwolk meeloopt. Deze uitkomst wint, volgens HOFFMEISTER, aan waarschijnlijkheid, doordat zich in de richting van den Stier en ongeveer diametraal daartegenover, plekken aan den hemel bevinden, waar het uitzicht naar de sterren ons blijkbaar door donkere wolken ontnomen wordt. Deze wolken zijn betrekkelijk dichtbij; waren zij ver weg, dan zouden er nog sterren aan onze zijde te zien zijn, hetgeen niet het geval is. Het ziet er dus naar uit alsof zij één langgerekte wolk zijn, die het zonnestelsel omsloten houdt en waarvan de meteoren ons de aanwezigheid „aan den lijve doen ondervinden."

Resumeerende moeten wij ons dus voorloopig tevreden stellen met de volgende antwoorden op de vraag naar de herkomst der meteoren:

1°. De jaarlijks, of op geregelde tijden uit een bepaalde hemelstreek komende meteorenzwermen behooren tot ons zonnestelsel. Men kan ze beschouwen als „uiteengetrokken" of „ontaarde" kometen, ook al is dit slechts voor 4 of 5 zwermen bewezen. Daar men zich echter noch over het ontstaan van kometen, noch over het ontaardingsproces een duidelijke voorstelling kan maken, blijft de vraag naar de herkomst van deze meteoren, in feite, onbeantwoord.

2°. De andere meteoren zijn deeltjes van een langgerekte kosmische stofwolk, waarin zij waarschijnlijk geen stelselmatige bewegingen hebben, en die zich in haar geheel langzaam verplaatst.

3°. De herkomst der meteorieten kan desnoods gezocht worden in een kosmische gebeurtenis, die eenige duizenden millioenen jaren geleden, althans op een tijdstip, waarop de millioenen sterrenstelsels veel dichter bij elkaar waren dan nu, zou hebben plaats gehad.

# VERBETERING IN DEN RADIO-OMROEP DOOR EEN NIEUWE MODULATIE-METHODE

door

PROF. DR. IR. N. KOOMANS

Chef van het Radiolaboratorium der Rijkstelegraaf.

---

Indien men van radio-omroep of meer algemeen van radio-telefonie spreekt, bedoelt men daarmede het uitzenden in den aether van muziek of spraak in den vorm van electrische golven. Met behulp van een ontvanger is het mogelijk de oorspronkelijke muziek of spraak uit deze golven te voorschijn te brengen.

Bij de gewone telefonie wordt de uit te zenden muziek of spraak langs een geleiding van den zender, de microfoon, naar den ontvanger, de telefoon overgebracht.

Het doel dat de technicus zich bij beide methoden van verzenden stelt, is het aan de zenderzijde geproduceerde geluid zoo getrouw mogelijk aan de ontvangerzijde te reproduceeren.

Zooals bekend is, bestaan muziek en spraak uit een opeenvolging van klanken, deze weer uit een samenstelling van verschillende tonen. Een toon neemt men waar indien de lucht door een of andere oorzaak in trilling geraakt; hoe sneller die trilling is, des te hooger is de toon die men waarneemt. Wordt de trilling sterker, d.w.z. wordt de uitwijking van de aan de trilling deelnemende deeltjes grooter, dan is de waargenomen trilling sterker. Volbrengen de deelnemende deeltjes 1000 trillingen per seconde, dan zegt men dat de trilling een frequentie heeft van 1000 Hertz, af te korten door Hz. Indien behalve de trilling van 1000 Hz, trillingen aanwezig

zijn met andere frequenties, b.v. 2000 of 3000 Hz en eventueel met frequenties die geen veelvoud van den toon van 1000 Hz zijn, dan heeft de toon iets eigens gekregen; men spreekt dan van de kleur of het timbre van den toon. De trilling van 1000 Hz noemt men den grondtoon, de andere de boventonen. Voor verschillende instrumenten is het aantal boventonen en hun verhouding t.o.v. den grondtoon verschillend; hierdoor wordt het verschil in timbre veroorzaakt. De beschreven mengtonen worden meestal klanken genoemd.

Door een microfoon, zooals die bij de gewone telefonie en bij de radio-telefonie gebruikt wordt, vloeit een gelijkstroom. Geraakt de lucht in de omgeving van de microfoon in trilling, dan zal door een proces in de microfoon de gelijkstroom in sterkte variëeren; m.a.w. er is behalve de gelijkstroom ook een wisselstroom ontstaan. Het aantal trillingen per seconde, dus de frequentie van dezen wisselstroom is gelijk aan die van de luchttrilling, de uitwijking of amplitude van dezen wisselstroom is evenredig met die der luchttrilling.

In muziek en spraak kunnen alle frequenties tusschen 25 en 10.000 Hz en zelfs nog hoogere voorkomen. Worden door het electrische systeem dat zich tusschen microfoon en telefoon bevindt, b.v. een telefoonkabel of een radio-zender en ontvanger, alle frequenties van den wisselstroom overgedragen in de juiste sterkteverhouding, dan zal het door de telefoon of den luidspreker geproduceerde geluid niet te onderscheiden zijn van het door de microfoon opgenomene.

Van het totale „frequentie-spectrum" kan men echter heel wat missen, voordat de kwaliteit onaannemelijk wordt. Gramofoonplaten gaan meestal niet verder dan 4500 Hz, enkele nieuwere tot 6000 à 7000 Hz. Ondanks het ontbreken van de hoogere tonen, kan het toch een genoegen zijn naar gramofoonmuziek te luisteren. Zijn lagere frequenties dan 4500 Hz niet meer aanwezig, dan wordt de kwaliteit aanmerkelijk slechter.

Voor de verstaanbaarheid van spraak kan men met een belangrijk

kleiner spectrum volstaan. Bij onze gewone telefoongesprekken worden geen hoogere frequenties dan 2700 Hz overgedragen. Toch is dit voldoende om het gesprokene te verstaan en ook om de stem te herkennen, hoewel bij een uitbreiding van het spectrum de herkenbaarheid van de stem aanzienlijk toeneemt.

De in wisselstroomen omgezette muziek of spraak moet uitgestraald worden. Dit kan niet zonder meer. Indien door een geleider een wisselstroom vloeit, zal een gedeelte van de energie welke de wisselstroom vertegenwoordigt, uitgestraald worden. De hoeveelheid energie welke uitgestraald wordt, neemt toe met de frequentie van den wisselstroom, is zelfs evenredig met het kwadraat van die frequentie. Hierdoor zal de straling bij lage frequenties practisch te verwaarloozen zijn, waarbij frequenties tot 10.000 Hz geacht worden laag te zijn. Een gelukkige omstandigheid, want anders zou er van de geheimhouding van onze telefoongesprekken niet veel terecht komen en zouden onze sterkstroomleidingen hun energie de ruimte in stralen inplaats van deze naar gloeilampen en andere verbruikstoestellen te voeren.

Voor radio zijn dus stroomen van hooge frequenties noodig, zgn. „hoogfrequente stroomen". Om toch de laagfrequente stroomen, waartoe muziek en spraak aanleiding geven, te kunnen uitstralen, moet een kunstgreep toegepast worden, welke hierin bestaat, dat men de laagfrequente stroomen „moduleert" op een hoogfrequente, welke laatste „draaggolf" genoemd wordt. Het wezen van dit modulatieproces dat uitvoerig is behandeld in mijn voordracht voor het genootschap Diligentia: „Vervorming bij radio-omroep" gehouden in Februari 1933, zal hier in het kort worden herhaald.

Indien men een laagfrequenten toon met frequentie p (bv. 1000 Hz) moduleert op een draaggolf met frequentie (bv. $10^6$ Hz), wil dat zeggen dat men de amplitude van de hoogfrequente trilling p-maal per seconde in sterkte doet varieeren op dezelfde wijze als dit bij de microfoon met den gelijkstroom geschiedde. Is de amplitude van

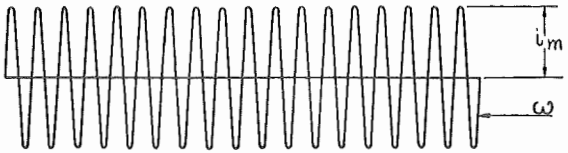



FIG. 1A

DRAAGGOLF

$i = i_m \cos \omega t$

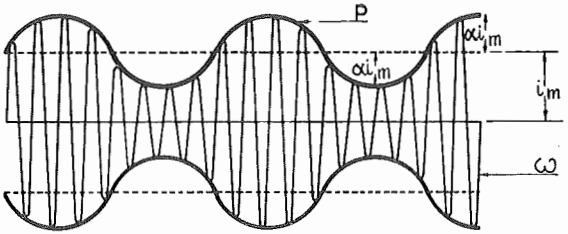



FIG. 1B

DRAAGGOLF MET ONDIEPE MODULATIE ($\alpha = \frac{1}{2} = 50\%$)

$$i = i_m(1 + \alpha \cos pt)\cos \omega t = i_m\{\cos \omega t + \tfrac{\alpha}{2}\cos(\omega + p)t + \tfrac{\alpha}{2}\cos(\omega - p)t\}$$

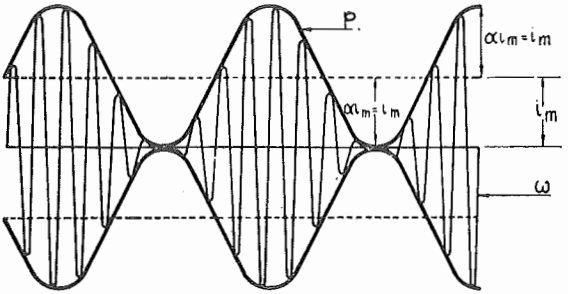



FIG. 1C

DRAAGGOLF MET DIEPSTE MODULATIE ($\alpha = 1 = 100\%$)

den laagfrequenten wisselstroom positief resp. negatief, dan vergroot, resp. verkleint men de amplitude van den hoogfrequenten stroom. Wordt de amplitude van den laagfrequenten wisselstroom

grooter, dus is deze afkomstig van een sterkeren toon, dan zijn de sterktevariaties van de amplitude van den hoogfrequenten stroom evenredig grooter. Men drukt dit uit door te zeggen dat er dieper gemoduleerd wordt. Moduleert men zoo diep, dat de amplitude van den hoogfrequenten stroom varieert van 0 tot 2-maal de amplitude van den ongemoduleerden hoogfrequenten stroom, dan is de modulatiediepte maximaal, nl. 100%.

Figuur 1 dient ter verduidelijking van een en ander. In fig. 1a

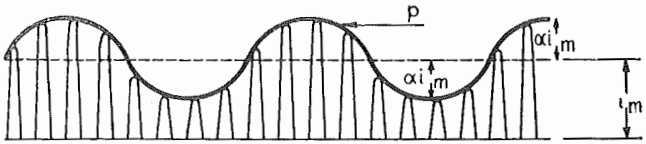



FIG. 2

vindt men een hoogfrequenten wisselstroom weergegeven met amplitude $i_m$; langs de horizontale as is de tijd uitgezet. De stroom wordt dus periodiek positief en negatief. Wordt een laagfrequente stroom op den hoogfrequenten gemoduleerd, dan verkrijgt men fig. 1b. Laat men de amplitude van het laagfrequente signaal aangroeien, dan verkrijgt men tenslotte fig. 1c.

Wordt een op dergelijke wijze gemoduleerd signaal ontvangen, dan moet dit signaal om den laagfrequenten wisselstroom terug te verkrijgen, „gedetecteerd", anders gezegd, gelijkgericht worden, d.w.z. men laat alleen positieve amplituden door. Het resultaat hiervan vindt men in figuur 2.

Ontleedt men dezen stroom, dan is hierin de oorspronkelijke laagfrequente stroom aanwezig.

Een eenvoudige wiskundige berekening [1]) leert dat de gemoduleerde hoogfrequente stroom opgebouwd is uit drie hoogfrequente trillingen; de frequenties van deze trillingen zijn $\omega$, $\omega + p$ en $\omega - p$. De amplituden van de laatste twee trillingen zijn evenredig met de modulatiediepte. Zet men langs een lijn de verschillende frequenties uit, dan verkrijgt men fig. 3.

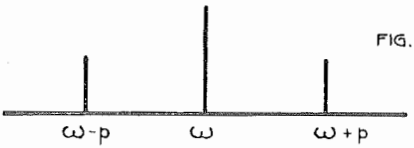



FIG. 3

DRAAGFREQUENTIE MET ZIJFREQUENTIES

Moduleert men met laagfrequente stroomen, welke van muziek of spraak afkomstig zijn, waarin bv. tonen tot 4500 Hz aanwezig zijn, dan kunnen in het hoogfrequente spectrum alle mogelijke frequenties tusschen $\omega - 4500$ en $\omega + 4500$ Hz voorkomen (fig. 4).

Het hoogfrequente spectrum is dus tweemaal zoo breed als het laagfrequente. De trilling met frequentie $\omega$ noemt men, zooals reeds vermeld, de draaggolf, de andere frequenties de zijbanden.

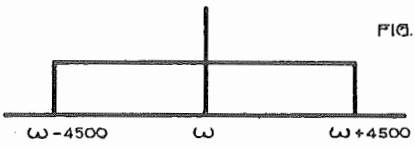



FIG. 4

DRAAGGOLF MET ZIJBANDEN

Is er behalve de zender met een draaggolffrequentie $\omega$ nog een

---

[1]) De hoogfrequente stroom wordt voorgesteld door:

$$i = i_m \cos 2\pi\omega t$$

waarin $i_m$ in de amplitude, $\omega$ de frequentie en t de tijd is; wordt deze gemoduleerd met een laagfrequent signaal met frequente p, en is de modulatiediepte $\alpha$, dan is de resulteerende stroom

$$i = i_m \cos 2\pi\omega t(1 + \alpha \cos 2\pi pt)$$

$$\text{of } i = i_m \left\{ \cos 2\pi\omega t + \frac{\alpha}{2} \cos 2\pi(\omega + p)t + \frac{\alpha}{2} \cos 2\pi(\omega - p)t \right\}.$$

De drie termen van het rechter lid stellen resp. de draaggolf en de zijbanden voor.

andere zender met een frequentie $\omega'$ en bevatten de op deze laatste draaggolf gemoduleerde laagfrequente stroomen ook frequenties tot 4500 Hz, dan strekt het spectrum van dezen zender zich uit van $\omega' - 4500$ tot $\omega' + 4500$ Hz. Ontvangt men den zender met draaggolf $\omega$, dus stemt men op dezen zender af, dan worden door de „filters" in den ontvanger alleen de frequenties tusschen $\omega - 4500$ en $\omega + 4500$ Hz doorgelaten. Hoeveel moeten nu de waarden $\omega$ en $\omega'$ van elkaar verschillen, opdat de zenders elkaar niet storen? Uit fig. 5 wordt onmiddellijk duidelijk dat dit verschil 9000 Hz moet zijn, want anders zouden beide spectra door elkaar loopen. Bij afstemming op eerstgenoemden zender wordt dan niet alleen het bij dien zender behoorende spectrum doorgelaten, doch ook een deel van het bij den anderen zender behoorende. Het is duidelijk dat hierdoor storing optreedt.

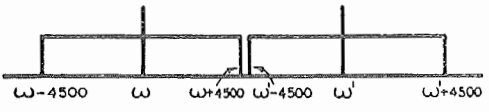


FIG. 5

Nu is in het totale voorhanden frequentie-spectrum slechts een klein gedeelte voor de omroep-stations gereserveerd. Noemt men het aantal toegelaten stations a en de breedte van het beschikbare frequentiespectrum b, dan is de breedte welke een zender in kan nemen $\frac{b}{a}$. Het resultaat van vele conferenties is, dat één station ongeveer 9000 Hz, in enkele gevallen zelfs maar 7000 Hz, „breed" mag zijn. Een breedte van 9000 Hz is voldoende, hoewel de kwaliteit bij een grootere breedte aanzienlijk verbetert; de breedte van 7000 Hz is beslist onvoldoende voor een behoorlijke weergave, aangezien zulks overeenkomt met een laagfrequent spectrum van slechts 3500 Hz.

Om in dezen toestand verbetering te brengen is door den Nederlandschen P.T.T.-Dienst een plan ontwikkeld, dat voorgelegd zal worden aan de Conferentie van het C.C.I.R. (Comité Consultatif

International des Radiocommunications) welke in Juni van dit jaar te Boekarest zal worden gehouden. Dit plan is gebaseerd op de volgende grondslagen:

1e. *De gewone tweezijband-telefonie* wordt door normale ontvangtoestellen bij voldoend nauwkeurige constructie der apparaten practisch vervormingsvrij weergegeven.

2e. *Eenzijband-telefonie*, d.i. gewone tweezijband-telefonie waarbij door daartoe strekkende middelen in den zender een van de beide zijbanden wordt geëlimineerd, geeft, indien deze wordt ontvangen, in normale ontvangtoestellen aanleiding tot vervorming, welke toeneemt naarmate de modulatiediepte grooter is.

3e. Blijft in het voorgaande geval de modulatiediepte kleiner dan 30 à 40% dan is de vervorming zoo gering dat het oor deze niet meer waarneemt.

Uitgaande van deze feiten is het plan ontstaan en verwezenlijkt, het omroep-frequentspectrum met behulp van electrische filters te scheiden in twee deelen, b.v. zoodanig, dat het eene gedeelte uitsluitend de tonen bevat lager dan 2000 Hz, het andere deel uitsluitend de tonen welke boven de genoemde grens liggen.

Vervolgens worden de tonen lager dan 2000 Hz — in het vervolg kortweg „de lage tonen" genoemd — met *twee zijbanden* op een draaggolf gemoduleerd. Op *dezelfde draaggolf* worden de hooge tonen met *één zijband* gemoduleerd. Beide deelen worden tezamen gevoegd en, na versterkt te zijn, tot de gewenschte energie bereikt is, den aether ingestraald als een hoogfrequentspectrum van den in fig. 5a weergegeven vorm.

In deze figuur is horizontaal uitgezet de frequentie, verticaal de sterkte der trillingen. Om de gedachte te bepalen is voor de draagfrequentie gekozen de frequentie van den omroepzender Kootwijk n.l. 160.000 Hz, overkomende met een golflengte van

1875 meter. Men ziet dat de lage tonen zich 2000 Hz ter weerszijden van de draaggolf uitstrekken, de hooge tonen echter slechts aan één zijde liggen, waarbij verondersteld is dat deze tot 7000 Hz aanwezig zijn.

Wanneer met een normalen ontvanger een op een dergelijke wijze gemoduleerde zender wordt ontvangen, doet zich hierbij het volgende voor. De lage tonen worden onvervormd weergegeven, aangezien deze met twee zijbanden in het spectrum voorkomen. De hooge tonen welke slechts met één zijband vertegenwoordigd zijn,

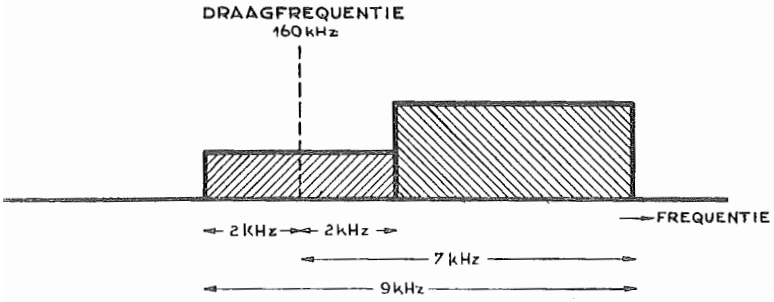



FIG. 5a

worden niettemin eveneens vervormingsvrij weergegeven, zulks tengevolge van het gewichtige feit, dat de modulatiediepte van deze hooge tonen, vergeleken met die van de lage tonen, zeer gering is en practisch nooit de kritische waarde van 30 à 40% overschrijdt.

De omstandigheid doet zich n.l. voor, dat bij spraak zoowel als bij muziek de energie voor verreweg het grootste deel zetelt in de lage tonen — zelfs in de tonen beneden 1500 Hz, zooals naderhand aangetoond zal worden — en slechts voor een gering deel in de hooge tonen. Deze laatsten vormen meer de timbrebepalende bijtonen.

De beschreven modulatie-methode met asymmetrische zijbanden kan al naar gelang de uitvoering resulteeren in:

betere kwaliteit bij dezelfde bandbreedte van den zender,

of

geringere bandbreedte bij dezelfde kwaliteit, waardoor ruimte voor meer zenders ontstaat,

of een samenstel van beide voorgaande gevallen.

De eerste dezer drie mogelijkheden is in het voorgaande besproken en in fig. 5a afgebeeld. De momenteel toegestane bandbreedte van 9000 Hz blijft behouden wanneer het laagfrequent-

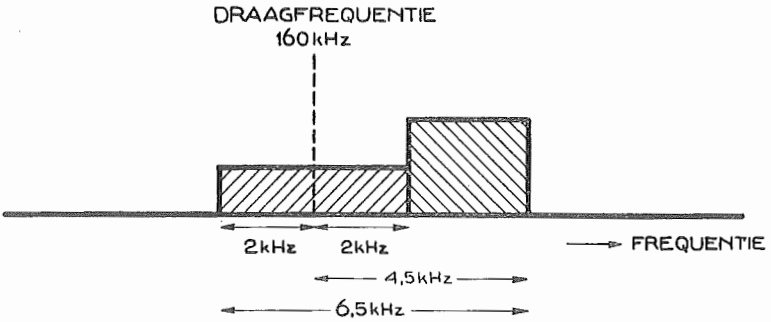



FIG. 6

spectrum gescheiden wordt bij 2000 Hz en de hooge tonen tot 7000 Hz worden uitgestraald. Ten opzichte van de gewone modulatie-methode met symmetrische zijbanden waarbij de zijbanden zich bij een bandbreedte van 9000 Hz slechts tot 4500 Hz uitstrekken, wordt dus een groote kwaliteitsverbetering bereikt.

Moet de nieuwe modulatie-methode dienstbaar gemaakt worden aan een verkleining van de bandbreedte der zenders dan wordt dezelfde kwaliteit, — dus hooge tonen tot 4500 Hz — reeds bereikt bij een bandbreedte van 6,5 kHz, hetgeen zonder meer duidelijk zal zijn bij een beschouwing van fig. 6.

Het grootste voordeel is echter te verkrijgen door een compromis te kiezen tusschen beide voorgaande gevallen, waardoor

èn meerdere zenders een plaats in den aether kunnen vinden èn de kwaliteit te verbeteren is.

Men komt nl. aan de hand van den gedachtegang die hierboven is ontwikkeld vanzelf tot de vraag, of het niet mogelijk is, zonder de kwaliteit te schaden, de scheiding als boven omschreven niet bij 2000 Hz, doch bij een lagere frequentie te doen plaats vinden. Om dit na te gaan zijn filters vervaardigd welke het mogelijk maken de splitsing naar verkiezing te leggen bij 2000 Hz, bij 1500 Hz of bij 1000 Hz. Voor deze drie gevallen werd nagegaan de energie-verdeeling tusschen de hooge- en lage tonen. Hierbij bleek, dat het

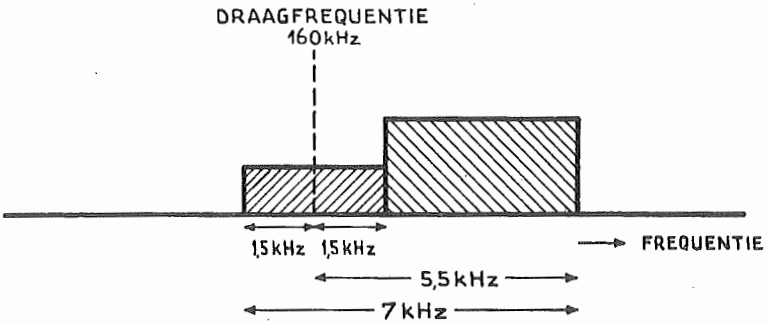



FIG. 7

verleggen van de scheiding van 2000 Hz op 1500 Hz slechts een nauwelijks merkbare toename van de energie in de hooge tonen tengevolge had. Een verdere verlaging tot 1000 Hz toonde echter een ontoelaatbare toename van deze energie aan.

Derhalve is het aangewezen om het omroepspectrum in elk geval te splitsen bij 1500 Hz en b.v. de hooge tonen mee te zenden tot 5500 Hz waardoor de zender een bandbreedte in beslag neemt van 1500 + 5500 = 7000 Hz. Hierdoor wordt eenerzijds aan bandbreedte gewonnen — deze is teruggebracht van 9000 Hz op 7000 Hz, — anderzijds het toonspectrum met 1000 Hz uitgebreid.

In de figuren is steeds het met één zijband gemoduleerde deel

hooger geteekend dan het met twee zijbanden gemoduleerde. Dit is essentieel, immers, aan de geluidsenergie welke tenslotte de luidspreker van den ontvanger uitstraalt, dragen *beide* zijbanden een *evengroot aandeel bij*. Wanneer dus de hooge tonen van het over te brengen laagfrequent-spectrum slechts met één zijband vertegenwoordigd zijn, moeten deze *tweemaal* zoo sterk worden uitgezonden om, in hetgeen de ontvanger weergeeft, de oorspronkelijke sterkteverhouding terug te vinden. Aangezien echter in vele ontvangers de hooge tonen ten opzichte van de lage verzwakt worden, kan het gewenscht zijn eerstgenoemde meer dan tweemaal zoo sterk door den zender te doen uitzenden.

## DEMONSTRATIES.

1. In de eerste plaats werd met verschillende soorten muziek gedemonstreerd dat de meeste energie inderdaad in de lage tonen aanwezig is. Hiertoe werd de muziek gesplitst bij 1000, 1500 of 2000 Hz en de hooge en lage tonen naast elkaar op één Braunsche buis gebracht, waardoor de sterkteverhoudingen onmiddellijk met elkaar te vergelijken waren. Aangetoond werd, dat de scheiding bij 1500 Hz de meest geschikte is en practisch gelijkwaardig aan die bij 2000 Hz.

2. Vervolgens werden beide deelen gemoduleerd, waarbij na samenvoeging het geheel werd uitgestraald op een draaggolf van 1875 meter. Het uitgestraalde werd met een normalen handelsontvanger ontvangen, waarbij werd aangetoond:

*a.* dat hetgeen de ontvanger weergaf en hetgeen den zender inging niet hoorbaar in kwaliteit verschilde, onafhankelijk van het feit of de scheiding bij 1500 of 2000 Hz gelegd werd;

*b.* dat met behulp van de variabele doseering van hooge- en lage tonen steeds een het gehoor bevredigend geluid te verkrijgen was;

c. dat de hooge tonen voor de kwaliteit van muziek en de verstaanbaarheid van spraak uitermate belangrijk zijn, niettegenstaande hun geringe energie. Zulks werd gedemonstreerd door beurtelings alleen de lage- of alleen de hooge tonen of beide gecombineerd te laten hooren.

3. Na te hebben vooropgesteld, hetgeen de radioluisteraars aan eigen toestel reeds zullen hebben waargenomen, dat wanneer men door de afstemming van een station heendraait, dit met een hoog zijbandgesis aankomt om na het passeeren van de juiste afstemming met hetzelfde hooge gesis weer te verdwijnen, werd gedemonstreerd, dat een ander verschijnsel zich voordoet wanneer het zendstation volgens de nieuwe modulatiemethode met asymmetrische zijbanden is gemoduleerd. Bij het passeeren van de afstemming hoort men dan het zijbandgesis slechts aan één kant en wel aan dien kant waar zich de hooge tonen bevinden.

Aan het einde van de voordracht werd in het licht gesteld dat, om het auditorium niet te vermoeien met details, slechts de groote lijnen werden vermeld en daardoor alles eenvoudig werd voorgesteld. Voor de studie van dit onderwerp is echter in werkelijkheid veel moeten worden verricht. Slechts een groot lichaam als het P.T.T.-bedrijf is hiertoe in staat, wanneer althans een ruime opvatting van de dienstleiding aanwezig is om naast haar gewone taak ook de ontwikkeling van de techniek te willen dienen. Spreker gevoelde zich als leider van het Rijksradiolaboratorium mede namens zijn medewerkers en helpers op dezen avond gedrongen hulde te betuigen aan die ruime opvatting van het Staatsbedrijf, die in staat stelt belangloos aan het algemeen belang diensten te bewijzen.

# OVER DE ATOOMKERNEN

door

PROF. DR. A. D. FOKKER

---

Enige jaren geleden had ik het voorrecht U iets te mogen mededelen over de atoomkernen. Toen Uw Bestuur mij enkele weken geleden uitnodigde wederom met dat onderwerp voor U op te treden, stelde het mij voor een moeilijke taak, omdat er zoveel op dat gebied is gewerkt. Maar ook U stelde het Bestuur daarbij voor een moeilijke taak.

Bij een voordracht over de atoomkernen is het niet doenlijk, de objecten zelf te demonstreren, en de hoorders zelf te laten oordelen over het waargenomene. Hoe zou men een lezingzaal kunnen herscheppen in een hoogspanningslaboratorium? In de plaats van een uitnodiging tot zelf waarnemen moet treden een mededeling van het door anderen waargenomene. In de plaats van een prikkeling tot zelf overwegen en besluiten, treedt een beroep op een goedvertrouwend geloof, een vertrouwen in de kritische toets, met nieuwe experimenten gelegd aan wat de verbeeldingskracht heeft gezien als de betekenis van proefondervindelijke uitkomsten, zodat ons relaas niet is een verhaal van occulte fantasie.

Wie atoomkern zegt, heeft reeds het moderne model van een atoom voor den geest; een ijl wolkje van electronen en een compacte, positief electrisch geladen kern, die de massa draagt. De tegenstelling van het vluchtige der electronen tot de ineengedrongen zwaarte van de kern is groot.

Sinds anderhalve eeuw is men in de scheikunde bezig de zwaarte te bepalen der atomen der elementen, die men heeft leren onderscheiden en die men namen heeft gegeven. Sinds vijfentwintig jaar weet men dat de naam van het element, zijn scheikundig gedrag, betekent de lading van zijn atoomkernen. De elementen verschillen, stap voor stap, in het aantal van de, telkens even grote, elementaire ladingen die de kernen dragen. Deze ladingsquanta bedragen elk $4{,}8 \times 10^{-10}$ electrostatische eenheid, het aantal daarvan heet het atoomnummer.

De atoommassa's zijn bij benadering veelvouden van eenzelfde massa. Hun verhoudingen worden, zij het bij benadering, door verhoudingen van gehele getallen voorgesteld. Sinds twintig jaren weet men ook, dat niet alle atomen van wat men eenzelfde element noemde, even zwaar zijn. Met de z.g. massaspectograaf heeft ASTON laten zien, dat er chemisch identieke atomen zijn met verschillende zwaarte, evenals RUTHERFORD en SODDY reeds eerder hadden ontdekt, dat er chemisch identieke atomen zijn met verschillende radioactieve eigenschappen: de *isotopen*.

Het ontwarren en het wegen van de isotopen heeft de benadering van de atoomgewichten tot gehele getallen nog beter gemaakt. De verschillen van de kernmassa's van isotopen zijn vrijwel steeds even groot, of een veelvoud van een bepaald quantum. Natuurlijk maakt men zich hieruit een voorstelling van deeltjes, uit welke de atomen zijn samengesteld. Isotopen hebben gelijke kernlading. Die bepaalt hun chemisch gedrag en hun naam. Hetgeen zij in ongelijk aantal hebben, moeten dus zijn ongeladen enkelingen. Die noemen wij *neutronen*. Chemische verschillen worden bepaald door ongelijk aantal geladen enkelingen. Die noemen wij *protonen*. De protonen kennen wij al sinds lang. Dat zijn de waterstofionen, de kernen der waterstofatomen. De neutronen kennen wij sinds vier jaren, na de proeven van JOLIOT en IRÈNE CURIE, en van CHADWICK.

De bekende atoomkernen catalogiseren wij in een kaart, elke

kern door een stip. Deze stip staat zoveel cm omhoog als het atoomnummer, de kernlading, aangeeft: dat is het aantal protonen in de kern. De stip staat zoveel cm naar rechts als het aantal neutronen in de kern bedraagt (wandkaart der isotopen, zie de figuur).

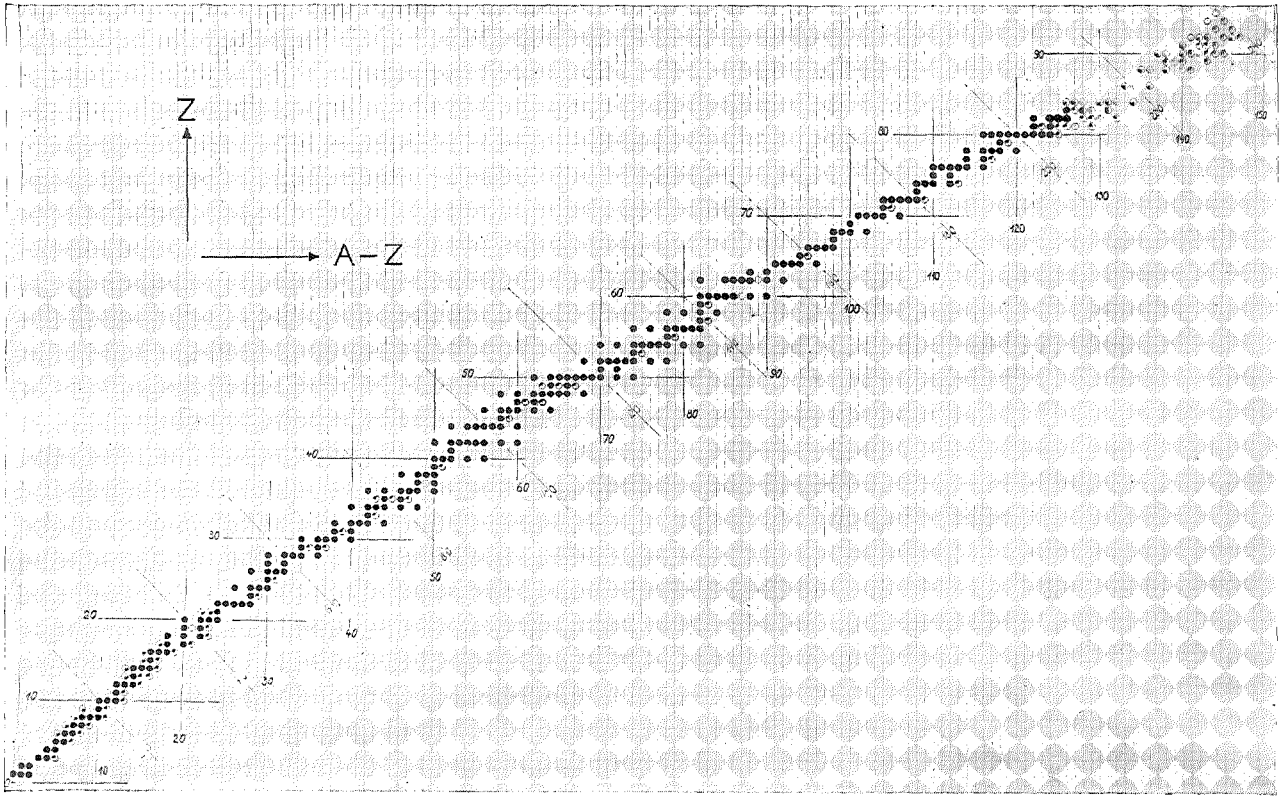
De kaart begint met een enkel proton, en met een enkel neutron. Wij weten niet, of het neutron als vrije enkeling stabiel is. Men kan een neutronengas niet vasthouden: de ongeladen deeltjes dringen overal in en doorheen. Zelfs dringen zij in de atoomkernen van zwaardere elementen. Vermoedelijk zullen zij zich vroeg of laat toch met andere neutron-begerige kernen verenigen. Zij kunnen zich verenigen met een proton, tot een kern van zwaardere waterstof, een deuton, *waterstof* met atoomgewicht *twee*.

Een deuton kan nog eens een neutron opnemen, het wordt dan de kern van de zwaarste waterstof, nog een tweede isotoop van de gewone *waterstof*, met atoomgewicht *drie*. Het bestaan van deze zwaarste isotoop heeft men spectroscopisch kunnen aantonen. Er is dus een stabiele verbinding mogelijk van twee neutronen met één proton.

Evenzo is er een verbinding mogelijk van twee protonen en één neutron, dat is de lichte isotoop van *helium*, zeg $He^3$. Dit is zeldzaam. Men ontmoet het bij bepaalde kernprocessen, waarover wij later zullen spreken.

Een betrekkelijk veel voorkomende kern is die van het gewone *helium*; twee protonen en twee deutonen. Deze kern is buitengewoon stabiel. Men kent hem al lang als $\alpha$-deeltjes, zoals hij uit de radioactieve atomen met grote snelheid wordt weggeslingerd. Wij vermoeden, dat hij niet makkelijk stukgeslagen zal worden. Ook neemt hij geen enkelingen aan om een zwaardere kern te vormen. Een kern met atoomgewicht 5 kennen wij nog niet: noch een heliumisotoop, met lading twee, noch een lithiumisotoop met lading drie.

De eerstvolgende kern heeft behalve drie protonen ook drie neutronen: dat is de lichte *lithium* isotoop. De zwaardere heeft nog een neutron erbij.




Wandkaart der bekende atoomkernen. Ordinaat is het aantal protonen, abscis het aantal neutronen. De zwarte cirkelschijfjes zijn de stabiele kernen. De stippen in de open cirkeltjes geven de richting, waarin de radioactieve kernen, na emissie, in een andere overgaan.

Vanaf lithium volgt nu een zekere regelmatigheid. Er kunnen afwisselend protonen en neutronen aan de kern toegevoegd worden. Niet, dat wij dat kunstmatig kunnen bewerkstelligen — zover zijn wij niet — maar de kernen bestaan, als stabiele dingen. Er is een kern, die één proton meer heeft dan $Li^7$, n.l. *beryllium* 8, al is het waar dat deze kern niet veel schijnt nodig te hebben om uiteen te spatten in twee heliumkernen. Dan is er een kern, die één neutron meer heeft dan $Be^8$, het gewone *beryllium* met massa 9. Er is een kern, die een proton meer heeft dan deze, n.l. de lichte *borium* isotoop, en deze wordt met nog een neutron de zware borium-isotoop $B^{11}$. Dan volgen, met afwisselend proton- en neutronverschil *koolstof* $C^{12}$ en $C^{13}$, en *stikstof* $N^{14}$ en $N^{15}$, *zuurstof* $O^{16}$ en $O^{17}$.

Bij $O^{16}$, het gewone, aan welks massa 16.0000 de andere massa's gemeten worden, moeten eerst achtereenvolgens twee neutronen ingelijfd zijn: $O^{17}$ en $O^{18}$, aleer er protonen bij komen. Dan weer eerst twee protonen, *fluor* 19 en *neon* 20, vervolgens twee neutronen tot neon 21 en neon 22, waarop wederom twee protonen moeten volgen: *natrium* 23 en *magnesium* 24, voor er bij magnesium twee neutronen bij komen: magnesium 25 en 26. Protonen-inlijving geeft dan in twee stappen *aluminium* 27 en *silicium* 28. Daarop volgen twee neutron-stappen: silicium 29 en 30. Dan weer twee protonstappen: *phosphor* 31, *zwavel* 32; twee neutronstappen: zwavel 33 en zwavel 34; twee protonstappen: *chloor* 35 en *argon* 36.

Hier houdt de vaste regel op. Naast chloor 35 is er chloor 37, twee neutronen erbij, naast argon 36 is er argon 38, en argon 40, telkens een neutronenpaar erbij. Een proton meer geeft *kalium* 39 en kalium 41, nog een proton meer geeft *calcium* 40 en calcium 42.

Nu volgt weer de aanhechting achtereenvolgens van twee neutronen en twee protonen, maar de opeenvolging van de zwaardere kernen geeft niet zo duidelijk een vaste regel te zien. Er komen rijen van meer dan drie, van vijf en meer, tot tien isotopen toe, met gelijk protonen aantal. Omgekeerd zijn er zuilen van meer dan drie,

van vier, vijf, zes, zeven kernsoorten met gelijk neutronenaantal, maar verscheidenheid van protonenaantal. Opmerkelijk is echter, dat bij oneven aantal neutronen er maar hoogstens één aantal protonen past. Zelfs is er bij 19 noch bij 21, bij 39 noch bij 45 neutronen, bij 61, noch bij 89 of bij 115 neutronen een stabiele kern gevonden. Wanneer er bij oneven aantal neutronen stabiel een aantal protonen past, dan is dat een even aantal. Wederkerig zien wij, dat er bij een oneven aantal protonen maar één, hoogstens twee aantallen neutronen passen, en dan telkens een even aantal.

Zolang, bij de lichte elementen, de rangschikkingslijn gelijke treden vertoont, met evenveel neutronen-breedte als protonen-hoogte, blijft het atoomgewicht zeer dicht bij het dubbele van het atoomnummer. Later worden de treden, voorzover die nog te onderkennen zijn, veel meer neutronen-breed dan zij protonen-hoog zijn, er komt een overwicht, een voorliefde voor neutronen aan den dag. Maar de punten liggen betrekkelijk verspreid, in een breder gebied.

Bij nog zwaardere kernen versmalt de figuur zich weer. Eindelijk houdt de rij op. De *zwaarste* kernen zijn alle *radioactief*. De een wat meer, de ander minder heftig. Labiel zijn ze alle. Ze ontdoen zich van energie en van materiële massabrokken door hun uitstralingen, totdat ze alle belanden in de stabiele staat van isotopen van het lood. De labiele kernen zijn door een niet-zwartgemaakt kringetje aangeduid.

Een vergelijking van de massa's der kernen kan ons een denkbeeld geven, hoe sterk de bestanddelen gebonden zijn.

TABEL DER ATOOMMASSA'S [1]).

| Kernsoort | Massa | Kernsoort | Massa | Kernsoort | Massa |
|---|---|---|---|---|---|
| $n^1$ | 1.0090 | $B^{10}$ | 10.0161 | $Ne^{20}$ | 19.9986 |
| $H^1$ | 1.0081 | $B^{11}$ | 11.0128 | $Ne^{21}$ | 21.0007 |
| $H^2$ | 2.0147 | $C^{12}$ | 12.0035 | $Ne^{22}$ | 21.9987 |
| $H^3$ | 3.0170 | $C^{13}$ | 13.0073 | $Na^{23}$ | 22.9971 |
| $He^3$ | 3.0170 | $N^{14}$ | 14.0073 | $Mg^{24}$ | 23.9938 |
| $He^4$ | 4.0039 | $N^{15}$ | 15.0048 | $Mg^{25}$ | 24.9946 |
| $Li^6$ | 6.0168 | $O^{16}$ | 16.0000 | $Mg^{26}$ | 25.9909 |
| $Li^7$ | 7.0179 | $O^{17}$ | 17.0046 | $Al^{27}$ | 26.9909 |
| $Be^9$ | 9.0149 | $O^{18}$ | ? | $Si^{30}$ | 29.9844 |
| $Be^{10}$ | 10.0164 | $F^{19}$ | 19.0045 | $P^{31}$ | 30.9844 |

Laat ons denken aan beryllium 9 en aan waterstof.

| | |
|---|---|
| | 9.0149 |
| | 1.0081 |
| Tezamen hebben zij een massa | 10.0230 |
| Het borium 10 heeft een massa | 10.0161 |

De vereniging van de kernen zou dan aanleiding geven tot een verlies van massa 0.007. Massa betekent energie. Een kernmassa van 0.001 betekent energie 0,93 millioen elektronvolts. Een millioen elektronvolts betekent een kernmassa 0.00107.

Indien bij de binding van berylliumkern 9 met proton een massaverlies 0.007 zou plaats vinden, dan vatten wij het zo op, dat er $6\frac{1}{2}$ millioen elektronvolt energie komt, die naar buiten afgegeven wordt. Deze energie is een maat voor *de sterkte van de binding*:

[1]) Overgenomen uit N. FEATHER, An introduction to nuclaer physics, Cambridge U. P., 1936.

evenveel energie zou men moeten besteden om een proton van borium 10 af te rukken.

Het verschil in massa tussen borium 11.0128 en borium 10.161 bedraagt slechts 0.9967. Een neutron zou wegen 1.0090. Daar is dus een bindingsenergie van 0.0123 kernmassa, d.i. 11.4 millioen eV. Tussen koolstof 12.0035 en borium 11.0128 is het verschil 0.9907, het proton 1.0081 zou gebonden zijn met een energie van 0.0174 kernmassa, dat is 16.2 millioen eV.

Zo kan men doorgaan.

Bij de zware kernen ontmoet men eindelijk massa's, groter dan de som der massa's van samenstellende delen. Dan kan er energie vrijkomen bij splitsing. Dat maakt de kern labiel, radioactief. Uit het gedrag van de labiele kernen is veel te leren, dat de kernen in het algemeen raakt. Radioactief noemen wij ze, als ze spontaan afglijden op de elementenladder en in iets anders overgaan.

Wat kan er uit een kern te voorschijn komen?

Laat ons beginnen met de *γ-stralen*. Deze zijn van electromagnetische aard. Het zijn quanta, photonen, als zodanig te vergelijken met zichtbaar licht, of met röntgenstralen, alleen veel doordringender. Ze zijn niet materieel. Dat wil zeggen, zij kunnen niet stilstaan. Ze vertegenwoordigen wel energie, en ook hoeveelheid beweging, maar deze in zulk een verhouding, dat daar slechts de lichtsnelheid bij past. Zij zijn niet aanwijsbaar, niet identificeerbaar. Met de methode van de WILSON-camera kan men ze ook niet ontdekken. Wel kan men hun werkingen op de materie te zien krijgen. Deze zijn drieërlei:

A. Het *photo-electrisch effect* betekent dat het photon geheel wordt geabsorbeerd en zijn energie geheel wordt omgezet in energie van een electron, dat losgeslagen wordt uit de materie en, naargelang van de energie van het photon, met groter of kleiner kinetische energie de ruimte in vliegt.

B. Het *Compton-effect* betekent een botsing van het photon

met een electron, een overdracht van een deel van zijn hoeveelheid beweging en van een deel van zijn energie. Na de botsing vliegt het photon verder, in iets andere richting, met verminderde energie.

C. De *vorming, paarsgewijze, van negatieve en positieve electronen*, van gewone electronen en van positonen, in de buurt van zware kernen. In 1934 mocht ik daar reeds iets over zeggen. Het is een *materialisatie* van energie. Een elektron heeft, krachtens zijn massa, een inherente energie van 0.51 millioen electronvolt. Electron met positon tezamen vertegenwoordigen in hun massa reeds 1.02 millioen eV. Zoveel energie wordt dus bij de omzetting van het quantum verbruikt voor de tweelingvorming. Het overschot wordt de kinetische energie van de beide electronen. Geen paarvorming zal er plaats hebben, wanneer de $\gamma$-straal minder energie heeft dan 1.02 millioen eV.

De mate, waarin deze drie effecten werkzaam zijn bij het absorberen van de energie der $\gamma$-straling, is zeer verschillend, naar gelang de energie der photonen. Bij geringe energie overweegt het photoelectrisch effect. Dit neemt af, naarmate de $\gamma$-stralen meer energie hebben, de stralen worden dan harder, en de absorptie komt meer voor rekening van het botsingseffect van COMPTON. Het aantal photonen vermindert niet zozeer als wel elks energie. Eindelijk, wanneer de $\gamma$-stralen meer energie dan 1.02 millioen eV hebben, worden ze ook door de electronen-paarvorming weggenomen. Niettegenstaande de toenemende energie der photonen wordt de straling toch minder doordringend, zachter.

De $\gamma$-stralen zijn louter energie. Al heeft het zin om de mogelijkheid van verschillende toestanden, verschillende bestaanswijzen van de kernen aan te nemen, met verschillende energie, men heeft nimmer zich voorgesteld dat een $\gamma$-straal als zodanig in de kern zat, evenmin als een lichtquantum als zodanig in een aangeslagen atoom te onderkennen is.

Vervolgens weet men, sinds de eerste jaren der radioactiviteit,

dat er uit de kernen *β-stralen* kunnen komen, dat zijn snelle electronen. Zij komen er uit, maar of zij er tevoren hebben ingezeten, is een andere vraag. De tegenwoordige opvatting is, dat zij in de kern geen afzonderlijk bestaan hebben gehad, en dat er in de kern in het geheel geen negatieve ladingen zijn. Wij hebben die opvatting al overgenomen, door de kernen samengesteld te achten uit protonen en neutronen. Het neutron beschouwen wij niet als een verbinding en neutralisering van een proton met een electron. Neen. Wanneer er bij zekere radio-actieve processen een electron weggezonden wordt, dan is de hoofdzaak, dat de kern energie emitteert. Deze energie wordt gedeeltelijk gematerialiseerd, door de creatie van een electron, gedeeltelijk wordt ze aan het electron meegegeven als kinetische energie. Daar er geen electrische lading ongecompenseerd kan ontstaan, wordt bij die materialisatie van energie een neutron in een proton omgezet [1]).

Thorium B, ThB, gaat na β-straling over in ThC, zeggen wij. ThB en ThC bevatten beide evenveel zware enkelingen, 212. ThC, (83p + 129n), bevat een proton meer, en een neutron minder, dan ThB, (82p + 130n). Aanvaardt men de uitzending van een β-deeltje als de afschudding van overtollige energie, dan kan men ThB beschouwen als een andere bestaanswijze, als een aangeslagen toestand van hetzelfde systeem waarvan ThC een stabielere bestaanswijze is.

Zolang men nog geen neutronen kende, was het natuurlijk, om te onderstellen, dat alle zwaarte in de kernen teweeggebracht werd door protonen, en dat er electronen bij moesten zijn om de kernlading terug te brengen van het atoomgewicht tot het atoomnummer. Nu wij het neutron ter beschikking hebben van onze fantasie, kunnen wij het zonder electronen in de kern doen. Dat is ook hierom prettig, omdat wij thans kernen kennen, waaruit *positonen* komen.

---

[1]) Aangetekend moet worden, dat de elektronen niet alle evenveel kinetische energie meekrijgen. Er is dus nog een energierecipiënt in het spel, een onweegbaar ongeladen deeltje, neutrino, een gravitatiestraling misschien.

De emissie van positonen uit de lichte radioactieve kernen zullen wij ook aanzien als een materialisatie van energie, de creatie van een positon gepaard aan de omzetting van een proton in een neutron. Silicium 27 bij voorbeeld (14p + 13n) gaat over in aluminium 27 (13p + 14n), wanneer het een positon uitzendt. Zouden wij daarom moeten aannemen, dat er een positon gezeten heeft in de siliciumkern? Silicium 27 ontstaat — dit kunnen wij zeggen, vooruitlopende op wat wij straks zullen zien — door de vereniging van magnesium 24 met een $\alpha$-deeltje, waarbij een neutron afgesplitst wordt. Zouden wij moeten denken, dat het positon met het $\alpha$-deeltje meegekomen is? Of dat het in magnesium 24 zat?

Nu wij de neutronen kennen, en de positonen, is het veel eenvoudiger om te denken, dat de positonen en de electronen *als zodanig niet* in de kernen zitten. Silicium 27 is dan te beschouwen als een andere bestaanswijze van hetzelfde systeem dat aluminium 27 kan zijn, een bestaanswijze met een positieve lading meer, en meer energie-inhoud.

Uit de radio-actieve kernen komen ook *alphastralen*. Zoals reeds gezegd, dit zijn heliumkernen, lading twee, massa vier. In tegenstelling tot de $\beta$-stralen komen deze uit de kernen met zeer scherp bepaalde energieën. Ze vertonen duidelijk „spectra", bepaalde groepen met specifieke snelheid. Deze differentiatie kan van twee kanten komen.

Ten eerste kan het zijn, dat er een verscheidenheid is in de toestanden, waarin de moederkern achterblijft na de $\alpha$-straling. De energieverschillen tussen deze staten van opwinding compenseren de energieverschillen der $\alpha$-deeltjes bij de verschillende emissieprocessen. De achtergebleven moederkern kan van één toestand in een andere overgaan onder emissie van het energieverschil als $\gamma$-straal. Dat is het mooie, dat de gevonden energieën van deze $\gamma$-stralen goed passen bij de energieverschillen der $\alpha$-stralen.

Ten tweede kan de differentiatie in de energie van de $\alpha$-stralen

gevolg zijn van een verschil in de staten van opwinding waarin de kern vóór de emissie verkeerde. Dan komen de zg. „long range $\alpha$-particles", $\alpha$-deeltjes met extra verre dracht, te voorschijn. Deze zijn betrekkelijk zeldzaam, en wel hierom, omdat een aangeslagen kern gemakkelijk door uitzending van een $\gamma$-straal overgaat in zijn gewone bestaanswijze. Slechts wanneer de kern zo labiel is, dat de kans op uitzending van een $\alpha$-straal, op de amputatie van een heliumkern, vergelijkbaar wordt met de kans op $\gamma$-straling, kunnen wij deze verre-dracht-$\alpha$-straling verwachten. Zulke snel afschietende kernen zijn RaC′ en ThC′, atoomnummer 84, neutronenaantal resp. 130 en 128. De energie-verschillen dezer $\alpha$-stralen vinden wij wederom terug in de energieën der $\gamma$-stralen van RaC′ en ThC′, en in de energieverschillen van de $\beta$-stralen van RaC en ThC. Het schema van ThC enz. ziet U op bijgaand plaatje.

Van ThC gaan er enerzijds verschillende groepen $\alpha$-stralen uit naar diverse toestanden met verschillende energie-niveaus van ThC″. Uit deze toestanden worden $\gamma$-stralen gezonden, en van het grondniveau ThC″ leidt een $\beta$-stralenemissie, gevolgd door $\gamma$-stralen, naar het stabiele eindatoom, ThD, thoriumlood.

Anderzijds gaan er van ThC verschillende groepen $\beta$-stralen naar diverse toestanden van ThC′, en er zijn er onder deze meer dan één — dat is wat zo juist ter sprake kwam — van waaruit een $\alpha$-straal-emissie het atoom doet overgaan in het stabiele eindatoom, thoriumlood wederom, dat, gedurende zijn aards bestaan, althans voorzover wij weten, niet meer veranderen zal.

U kunt opmerken, dat niet alleen ThB en ThC, maar ook ThC en ThC′ evenveel zware deeltjes bevatten: $82 + 130 = 83 + 129 = 84 + 128$. Men zou dus zover kunnen gaan, dat men ThB en ThC aangeslagen toestanden zou noemen van ThC′. Aangezien echter bij ThC ook een $\alpha$-straal kan worden uitgezonden, is het voorlopig misschien natuurlijker om ThC als een aparte kernsoort te beschouwen.

Iets anders dan $\gamma$-stralen, $\beta$-stralen en $\alpha$-stralen heeft men niet zien komen uit kernen, die aanzichzelf overgelaten waren. Wel heeft men *protonen uit kernen* zien komen, die met $\alpha$-stralen beschoten waren. Een WILSON-foto is door BLACKETT gemaakt, die stikstof met $\alpha$-stralen beschoot. Men ziet het effect van de botsing. Het is eigenlijk geen botsing. Het $\alpha$-deeltje versmelt met de stikstofkern, een proton vliegt eruit, en wat er overblijft is een zuurstofisotoop, $O^{17}$.

$$\begin{array}{cccccc} 14 & 4 & & 1 & 17 \\ N & + & He & = H + & O. \\ 7 & 2 & & 1 & 8 \end{array}$$

Vele kernen reageren op deze wijze met $\alpha$-deeltjes. Daaronder waren de aluminiumkernen reeds vroeg het voorwerp van onderzoek, door CHADWICK en diens jongere medewerkers. CHADWICK kon vaststellen, dat er verschillende groepen van protonen uit aluminium konden komen. Bij bepaalde snelheid der $\alpha$-deeltjes

$$\begin{array}{cccccc} 27 & 4 & & 1 & 30 \\ Al & + & He & = H + & Si \\ 13 & 2 & & 1 & 14 \end{array}$$

waren het twee groepen. Dat betekent eenzelfde beginwaarde van de energie, en twee mogelijke energiewaarden van het eindproduct, dat hier is een siliciumisotoop 30.

LISE MEITNER heeft een WILSON-opname gemaakt waarin men de groepen van protonen ziet, die uit het bestraalde aluminium te voorschijn komen.

De *neutronen* heeft men ontdekt, toen zij uit beryllium te voorschijn kwamen bij de bestraling met $\alpha$-stralen uit polonium. BOTHE en BECKER vonden daarbij zeer doordringende $\gamma$-stralen. JOLIOT en IRÈNE CURIE vonden nog een andere straling, die uit cellophaan en paraffine een sterk ioniserende straling vrij maakte. CHADWICK

was het eerst gereed met de interpretatie, die hij aan proeven toetste en bevestigd vond, dat dit zware corpuskels waren, met een massa, te vergelijken met die van de protonen, maar ongeladen.

$$\begin{matrix} 9 & 4 & & 1 & 12 \\ \mathrm{Be} & + \mathrm{He} & = & \mathrm{n} & + \mathrm{C}. \\ 4 & 2 & & 0 & 6 \end{matrix}$$

Iets anders dan $\gamma$-stralen, $\beta$-stralen en positonen, $\alpha$-stralen, protonen en neutronen heeft men nog niet uit de kernen zien komen. Wij willen nu nagaan wat er gebeuren kan, wanneer men omgekeerd deze stralen op atoomkernen werpt, en daaraan voegen wij dan nog de deutonen toe.

Met *$\gamma$-stralen* heeft men tot dusver twee *kernreacties* teweeg kunnen brengen. CHADWICK en GOLDHABER hebben de zware waterstof daarmede ontleed, met $\gamma$-stralen van thorium C, $h\nu = 2.62 \times 10^6$ eV,

$$\begin{matrix} 2 & & 1 & 0 & \\ \mathrm{H} & + \mathrm{h}\nu & = \mathrm{H} & + \mathrm{n} & + \text{ energie}. \\ 1 & & 1 & 0 & \end{matrix}$$

De vrijkomende energie is thans nader bepaald op $0.36 \times 10^6$ eV, en dat stelt ons in staat om, alle energie tot massa herleidende, uit de bekende massa's van deuton en proton te komen tot die van het neutron.

Ook beryllium 9 is door deze $\gamma$-stralen ontleed:

$$\begin{matrix} 9 & & 8 & 1 & \\ \mathrm{Be} & + h\nu & = \mathrm{Be} & + \mathrm{n} & + \text{ energie}. \\ 4 & & 4 & 0 & \end{matrix}$$

De vrijkomende energie was 1 millioen eV. Dat maakt een berekening van de massa van beryllium 8 uit die van beryllium 9 mogelijk.

Door *bestraling met β-stralen* heeft men nog nooit een kernmutatie gezien.

Van de effecten der *bestraling met α-stralen* zagen wij reeds een voorbeeld: het aluminium geeft in ruil voor de heliumkern een proton:

$$\begin{matrix} 27 & 4 & & 1 & 30 \\ \mathrm{Al} & + \mathrm{He} & = \mathrm{H} & + \mathrm{Si} & + \text{energie.} \\ 13 & 2 & & 1 & 14 \end{matrix}$$

Maar er kan ook iets anders gebeuren. Inplaats van een proton kan er ook een neutron geëmitteerd worden:

$$\begin{matrix} 27 & 4 & & 1 & 30 \\ \mathrm{Al} & + \mathrm{He} & = \mathrm{n} & + \mathrm{P} & + \text{energie.} \\ 13 & 2 & & 0 & 15 \end{matrix}$$

Er wordt een phosphorisotoop gevormd, en dit is niet stabiel. Het is een radioactieve kern, en onder uitzending van een positon gaat het over in de siliciumisotoop:

$$\begin{matrix} 30 & & 30 & \\ \mathrm{P} & = \mathrm{Si} & + \mathrm{e} & + \text{energie.} \\ 15 & & 14 & 1 \end{matrix}$$

JOLIOT en CURIE hebben het eerst deze radioactieve reactie aangetoond, en sindsdien zijn er nog vele meer gevonden.

Van de effecten der *bestraling met protonen* is beroemd de eerste uitkomst, van COCKCROFT en WALTON, die *lithium* bestraalden.

$$\begin{matrix} 7 & 1 & & 4 & 4 \\ \mathrm{Li} & + \mathrm{H} & = \mathrm{He} & + \mathrm{He} & + \text{energie.} \\ 3 & 1 & & 2 & 2 \end{matrix}$$

Het lithium 7 nam het proton op, en spatte uiteen in twee even zware α-deeltjes, lijnrecht uit elkaar.

Het lithium 6 nam eveneens het proton op, en ging uiteen in helium 3 en helium 4:

$$\begin{matrix} 6 & 1 & 4 & 3 \\ \mathrm{Li} & + \mathrm{H} = \mathrm{He} & + \mathrm{He} & + \text{energie.} \\ 3 & 1 & 2 & 2 \end{matrix}$$

De bestraling van borium met *protonen* levert twee mogelijkheden. Er kan, na de opneming, een splitsing zijn in tweeën:

$$\begin{matrix} 11 & 1 & 4 & 8 \\ \mathrm{B} & + \mathrm{H} = \mathrm{He} & + \mathrm{Be} & + \text{energie.} \\ 5 & 1 & 2 & 4 \end{matrix}$$

De $\alpha$-straal wordt weggeslingerd met een energie van 5,8 millioen eV, 4,4 cm dracht. Indien er eerst uit borium een stilstaand complex gevormd wordt, namelijk een aangeslagen koolstof, ${}_6C^{12}$, dan volgt, dat beryllium 8 naar de andere zijde geslingerd wordt met een energie 2.9 millioen eV. Totaal komt er een energie vrij van 8,7 millioen eV. Klaarblijkelijk kan het complex ook $\alpha$-stralen uitzenden met geringere energie, dracht 2.4 cm, energie 3.9 millioen eV. Dan blijft de beryllium-8-kern met te veel energie achter, en er komt een explosie. Dat geeft ons de alternatieve reactie:

$$\begin{matrix} 11 & 1 & 4 & 4 & 4 \\ \mathrm{B} & + \mathrm{H} = \mathrm{He} & + \mathrm{He} & + \mathrm{He} & + \text{energie.} \\ 5 & 1 & 2 & 2 & 2 \end{matrix}$$

De bestraling met *deutonen* geeft ook interessante reacties. Allereerst: deutonen op deutonen geschoten geven tweeërlei reacties:

$$\begin{matrix} 2 & 2 & 1 & 3 \\ \mathrm{H} & + \mathrm{H} = \mathrm{H} & + \mathrm{H} & + \text{energie,} \\ 1 & 1 & 1 & 1 \end{matrix}$$

herverdeling van de massa's zonder, en met ladingswisseling:

$$\begin{array}{cccccc} 2 & 2 & 1 & 3 & & \\ H & + & H = n & + & He & + \text{ energie.} \\ 1 & 1 & 0 & 2 & & \end{array}$$

Een ander voorbeeld geeft de bestraling van lithium.

Lithium 6 geeft:

$$\begin{array}{cccccc} 6 & 2 & 4 & 4 & & \\ Li & + & H = He & + & He & + \text{ energie.} \\ 3 & 1 & 2 & 2 & & \end{array}$$

Dit zijn zeer snelle $\alpha$-deeltjes.

Lithium 7 geeft een neutron en twee $\alpha$-deeltjes:

$$\begin{array}{cccccc} 7 & 2 & 1 & 4 & & \\ Li & + & H = n & + & 2He. & \\ 3 & 1 & 0 & 2 & & \end{array}$$

Ook kan een deuton opgenomen worden en proton geëmitteerd, zodat er een zwaardere isotoop gevormd wordt:

$$\begin{array}{cccccc} 6 & 2 & 7 & 1 & & \\ Li & + & H = Li & + & H & + \text{ energie.} \\ 3 & 1 & 3 & 1 & & \end{array}$$

Dat ziet men op een plaatje van DEE.

De *neutronen* geven tot velerlei reacties aanleiding. Snelle neutronen kunnen worden opgenomen, en een $\alpha$-deeltje geëmitteerd.

Zuurstof doet dat:

$$\begin{array}{cccccc} 16 & 1 & 13 & 4 & & \\ O & + n \rightarrow & C & + & He & + \text{ energie.} \\ 8 & 0 & 6 & 2 & & \end{array}$$

Stikstof eveneens:

$$\begin{array}{cccccc} 14 & 1 & 11 & 4 & & \\ N & + n \rightarrow & B & + & He & + \text{ energie.} \\ 7 & 0 & 5 & 2 & & \end{array}$$

Maar ook kan een proton worden uitgezonden:

$$\begin{matrix} 14 & 1 & 1 & 14 \\ N & + n \rightarrow & H & + C \\ 7 & 0 & 1 & 6 \end{matrix} + \text{energie.}$$

Deze processen, waar geladen deeltjes uit de kernen moeten komen, geschieden voornamelijk met snelle neutronen. *Langzame neutronen* worden vaak gemakkelijker nog opgenomen. Soms, bij lichte elementen, lithium, borium, ook stikstof, komt er nog wel emissie van $\alpha$-deeltjes, of van een proton. Zwaardere elementen nemen graag neutronen op zonder emissie van een zwaar deeltje. Bekend hierom zijn *zilver* en *cadmium*. Van cadmium zijn verscheidene isotopen bekend. Deze verschillen minder in massa dan de massa van een neutron bedraagt. Het overschot is overtollige energie. Deze wordt, na de vangst van een neutron, uitgestraald als $\gamma$-straling.

Bij zilver worden instabiele isotopen gevormd. Het massa-overschot wordt ook als overtollige energie gespuid. Dit keer echter in den vorm van een $\beta$-straal. Ook *jodium* heeft sterk deze eigenschap, dat een langzaam neutron wordt opgenomen, en een radioactief isotoop, jodium 128, gevormd, dat met uitzending van een $\beta$-straal overgaat in een der isotopen van xenon.

Laat mij tot slot U een model mogen laten zien, dat BOHR geschetst heeft om een beeld te geven van de werkingen van een neutron op een kern. Het veld der krachten, die een kern op een neutron oefent, zij voorgesteld door een komholte in een stuk hout. Het ongeladen neutron kan zonder moeite daarin komen: het behoeft niet tegen afstotende krachten op te lopen. Een stalen bol laten wij met enige snelheid door die kom rollen. Wanneer daar geen andere bollen in zijn, of althans wanneer de aankomende bol tegen geen andere bol opbotst, loopt hij aanstonds weer het krachtveld uit, met grootere of kleinere afwijking uit de aanvankelijke richting, al

naar zijn snelheid. Het kan ook zijn, dat er één enkele andere bol in de kom geraakt wordt, en dat nu die andere eruit vliegt, een atoombrok dat de kern verlaat. Echter zal het, wanneer er een aantal bollen in de kom compact bij elkaar liggen, veel waarschijnlijker zijn, dat de weggestoten bol alvorens de kom te verlaten nog met andere, met vele andere bollen botst, zodat de energie zich over vele bollen verdeelt. De nieuw aankomende bol wordt dan gemakkelijk gevangen, zonder dat zijn energie geconcentreerd wordt op één andere, die de kom kan verlaten; integendeel, de energie wordt verspreid.

Zo is het met de vangst van een neutron door een zware kern. Wat het meebrengt aan kinetische energie en aan massa-overschot wordt aanstonds over de gehele kern verdeeld. Een straling van het geheel, als $\gamma$-straal-emissie of als $\beta$-straal-emissie is dan waarschijnlijker dan de emissie van een der zware deeltjes.

# INDUSTRIEELE STIKSTOFBINDING

door

A. F. A. REIJNHART

---

Onder de talrijke levensprocessen, die in het plantenlichaam plaats vinden, is de voeding wel het voornaamste. Het gebruik van meststoffen was reeds in de grijze oudheid bekend. Toentertijd maakte men vrijwel uitsluitend gebruik van dierlijke en plantaardige mest, de zg. organische mest bestaande uit afvalstoffen van dierlijken of plantaardigen oorsprong.

Men kwam bij het weiden van vee reeds spoedig tot het inzicht dat de plantengroei belangrijk bevorderd werd door dierlijke uitwerpselen. Gerust kan worden aangenomen dat deze waarneming geleid heeft tot het zich bewust worden van het feit, dat zich in de dierlijke uitwerpselen bepaalde stoffen moesten bevinden, welke aan den bodem toegevoegd, den plantengroei in sterke mate bevorderden.

Welke stoffen voor den plantengroei noodig waren, was niet bekend; evenmin was bekend op welke wijze de plant het voedsel tot zich nam.

Vele onderzoekingen, die eveneens uit de oudheid dateeren, werden aan dit vraagstuk gewijd. Zoo is bekend, dat ARISTOTELES zich reeds beziggehouden heeft met de studie over de voeding der plant; hij kwam tot de conclusie, dat de planten al hun voedsel uit den bodem opnamen.

Later, omstreeks 1600 kwam VON HELMONT tot een geheel andere conclusie, nl. dat de plant uitsluitend door water zou worden gevoed. Na hem werd de „humus-Theorie" gepropageerd door

THAER, die aannam dat de koolstofrijke humus in den bodem de voedselbron voor de planten was.

Eerst in 1779 werd door INGENHOUSZ de z.g. koolzuurassimilatie ontdekt. Het koolzuur uit de dampkringslucht wordt onder invloed van zonlicht in de bladeren ontleed, waarbij koolstof in de plant achterblijft en zuurstof wordt afgegeven.

Deze ontdekking, die van fundamenteele beteekenis was en een zeer veel dieper inzicht gaf in de plantenphysiologie, bleek nog niet voldoende te zijn. Alleen van koolzuur uit de lucht kan de plant niet leven.

Het was BERTHOLLET, die in 1803 erop wees, dat de planten ook minerale stoffen voor hun ontwikkeling noodig hebben.

De grondslag voor de beoordeeling van de behoefte aan mest van den akkerbodem werd eerst gegeven door JUSTUS VAN LIEBIG omstreeks 1840 in de door hem vastgestelde wet van het minimum. Volgens deze wet wordt de ontwikkeling van het gewas beheerscht door de voedingsstof, die in verhouding tot de andere voedingsstoffen in minimum aanwezig is.

Uit deze wet volgt, dat het bemesten van een bodem niet willekeurig kan plaats vinden, maar dat men de meststoffen in de juiste verhouding dient toe te voegen. Reeds spoedig komen we tot het inzicht dat op den langen duur vooral aan deze wet moet worden voldaan, daar de planten voedingsstoffen uit den bodem onttrekken, welke met den oogst worden weggevoerd.

Ook heeft LIEBIG vastgesteld dat de plant de voedingsstoffen alleen in opgelosten toestand tot zich kan nemen, door verdamping van het water in de bladeren komt dan eerst de voedingsstof aan de plant ten goede.

Om uitputting van den bodem te voorkomen zijn het vooral de elementen Ca, K, P en N welke aan den bodem moeten worden toegevoegd.

Volgens het bovenstaande is het duidelijk dat de genoemde elementen in den vorm van wateroplosbare verbindingen moeten

worden toegepast. Eenige uitzonderingen op dezen regel vormen het $CaCO_3$, het calciumcarbonaat en de Ca di- en tri-phosphaten. Het op zichzelf onoplosbaar $CaCO_3$ wordt door koolzuur, dat in den bodem in rijke hoeveelheden gevormd wordt, omgezet tot het meer oplosbare hydrocarbonaat. Zelfs is gebleken dat het onoplosbare $Ca_3(PO_4)_2$ door humusstoffen wordt ontleed.

Nu komen het $CaCO_3$, $Ca_3(PO_4)_2$ en KCl in vrijwel onuitputtelijke hoeveelheden op aarde voor. Een tekort aan deze stoffen is voorloopig dus niet te vreezen.

Geheel anders staat het met het element N. Het was Sir WILLIAM CROOKES, die in 1898 op grond van uitvoerige becijferingen tot de conclusie kwam, dat wegens de ontoereikendheid van de Chileensche salpetervelden de binding van de stikstof uit de lucht ernstig diende te worden bestudeerd.

Van de 3 belangrijkste elementen K, P en N komt alleen N in ons land voor; de lucht bestaat in hoofdzaak uit 0,03% $CO_2$, 1% Ar, 21% $O_2$ en 78% $N_2$. Wij herinneren ons nog uit de schooljaren dat N een zeer geringe affiniteit vertoont t.o.v. de andere elementen. Toch zijn er thans verschillende technische procédé's uitgewerkt, waarbij de traag reageerende stikstof op ontzaggelijk groote schaal chemisch gebonden wordt.

De belangrijkste procédé's zijn:

1) Het proces van BIRKELAND, EYDE en SCHÖNNHERR, dat als een imitatie kan worden opgevat van den bliksem.

Lucht wordt hierbij bij zeer hooge temperatuur in den vlamboog verbrand; de verbrandingsproducten worden plotseling met water afgekoeld en salpeterzuur wordt op deze manier gewonnen. Dit proces werd vooral in Noorwegen toegepast, doch wegens het zeer hoog electriciteitsverbruik nl. 55 KWU/KGN bleek dit proces niet meer levensvatbaar.

2) Het proces van FRANK en CARO, waarbij als product ontstaat de kalkstikstof $CaCN_2$ (calcium-cyaanamid) door stikstofgas te leiden over gloeiend calcium-carbide.

Ook voor dit proces is het krachtverbruik nog vrij aanzienlijk. Dit bedraagt 10—15 KWU/KGN. De toepassing van deze meststof is niet ideaal te noemen; de kalkstikstof tast veelal de huid aan van den landbouwer die het moet uitstrooien.

3) Het HABER-BOSCH-proces, waarbij luchtstikstof gebonden wordt aan waterstof tot ammoniak, volgens de chemische vergelijking:

$$N_2 + 3H_2 \rightarrow 2NH_3.$$

Dit proces, dat den laagsten kostprijs heeft, wordt in een iets gewijzigden vorm door de N.V. MEKOG toegepast.

Het krachtverbruik bedraagt alles inbegrepen nog geen 2.5 KWU/KGN.

De grondstoffen voor deze ammoniak synthese zijn dus:

de stikstof die in onmeetbare hoeveelheden in de atmosferische lucht gratis ter beschikking staat en

de waterstof; deze grondstof wordt ons niet door de natuur in den vorm van vrije waterstof aangeboden en is daarom voor deze synthese het kostbaarst.

Er zijn verschillende methoden om waterstof te bereiden.

In Duitschland gaat men uit van watergas, dat in gasgeneratoren, zooals in enkele gasfabrieken met blaasgang en gasgang gemaakt wordt uit stoom en kool. Bij dit proces speelt zich de endotherme reactie af:

$$H_2O + C \rightarrow H_2 + CO - 28 \text{ cal.}$$

Dit watergas wordt met behulp van katalysatoren verder omgezet, waarbij uit het koolmonoxyde en stoom nog een aequivalente hoeveelheid $H_2$ wordt gewonnen, volgens de exotherme reactie:

$$CO + H_2O \rightarrow H_2 + CO + 10 \text{ cal.}$$

Het cokesverbruik bij deze methode is vrij aanzienlijk en bedraagt 3,5 kg per KGN, verder is het aldus verkregen gas zonder meer niet bruikbaar. Een intensieve zuivering van de resten, nl. $CO_2$ en CO dient plaats te hebben, waardoor al met al deze werkwijze alleen

onder zeer speciale economische omstandigheden concurreerend is door te voeren.

Nog duurder is de bekende bereiding van waterstof door electrolyse van water, niet alleen wegens het hoog stroomverbruik, maar ook door de hooge onderhoudskosten der electrolyseurs. Het krachtverbruik bedraagt niet minder dan 6 KWU per $m^3$ $H_2$, de productie van 1 kg als $NH_3$ gebonden stikstof kost 18 KWU.

Het heele kostenvraagstuk wordt momenteel beheerscht door den prijs waarvoor de $H_2$ kan worden gemaakt en op het oogenblik is althans voor Europa de goedkoopste bron voor $H_2$ het cokesovengas. Dit is dan ook de reden, dat zoowel in Nederland als ook in het buitenland groote stikstoffabrieken gekoppeld zijn aan cokesovenbedrijven.

In Amerika zijn de omstandigheden anders; in vele petroleumgebieden ontwijkt uit de aarde het aardgas, hoofdzakelijk bestaande uit methaan ($CH_4$). Hieruit kan door verhitten op hooge temperatuur (1000° C.) de $H_2$ worden verkregen naast koolstof.

De N.V. MEKOG is sinds September 1929, als dochteronderneming van de Hoogovens, een belangrijke verbruiker van cokesovengas, dat door Hoogovens wordt geproduceerd. Onder de grondstoffen voor de fabricage van ruw ijzer neemt namelijk de cokes een voorname plaats in. Cokes wordt verkregen door de z.g. droge destillatie van steenkool. Op dezelfde wijze als dat in bekende stedelijke gasfabrieken geschiedt, wordt steenkool in de cokesfabriek in twee uitgestrekte cokesbatterijen op hooge temperatuur verhit onder uitsluiting van lucht.

Het kwantum cokesovengas dat bij deze destillatie vrijkomt, bedraagt meer dan 100.000.000 $m^3$ per jaar. Een deel hiervan wordt in het bedrijf zelf gebruikt, een gedeelte wordt als lichtgas geleverd aan omliggende gemeenten. Verreweg het grootste gedeelte wordt door MEKOG op waterstof verwerkt.

De winning van waterstof uit cokesovengas is zeer aantrekkelijk,

Het gas bestaat voor 60—63% uit $H_2$ en wanneer de waterstof uit het gas is afgezonderd, dan blijft in het resteerend gas, restgas genaamd, nog ongeveer 60% van de brandstofwaarde achter.

Het cokesovengas wordt alvorens aan het stikstofbindingsbedrijf te worden geleverd, evenals in gasfabrieken, eerst gezuiverd van teer, zwavelwaterstof en ammoniak. Bovendien zijn het benzol en homologen zoo goed mogelijk eruit verwijderd. Deze reiniging is echter voor het stikstofbedrijf nog niet voldoende.

Het gas moet nog verder gezuiverd worden en wel grondig bevrijd worden van koolzuur ($CO_2$), $H_2S$ (zwavelwaterstof), $C_2H_2$ (acetyleen) en dergelijke gassen.

Hoewel deze verontreinigingen slechts in kleine hoeveelheden aanwezig zijn, geven zij bij de verdere verwerking in de gasscheidingsapparaten aanleiding tot zeer groote moeilijkheden. De verdere verwerking geschiedt nl. onder druk en bij zeer lage temperaturen, zoodat bv. $CO_2$ de pijpjes in de apparaten zou verstoppen, omdat het bij afkoeling onder den druk, die in de apparaten heerscht, niet eerst vloeibaar, doch van den gasvorm in eens in den vasten vorm overgaat.

De eenvoudigste reiniging geschiedt met water. In water lossen de genoemde gassen gemakkelijk op, terwijl de andere bestanddeelen van het gas niet zoo gemakkelijk oplossen. Bovendien wordt de oplosbaarheid vergroot omdat de wassching plaats vindt onder druk.

De werkwijze is als volgt.

Cokesovengas wordt in de stikstoffabriek aangezogen door twee groote compressoren, die ieder een capaciteit hebben van ongeveer 5000 $m^3$ gas per uur en gecomprimeerd op 12 atm. druk. Hierna volgt de waterwassching.

Zooals reeds eerder vermeld heeft de uitwassching plaats onder dezen druk.

Hiervoor zijn aanwezig cylindrische drukwatertorens, scrubbers genoemd, ieder met een inhoud van circa 20 $m^3$ gevuld met kleine cylindrische ringen, RASHIG-ringen geheeten.

Door iedere scrubber passeert per uur 600 $m^3$ water, die door een centrifugaalpomp geleverd worden onder een druk van 12 atm.

In de scrubber vindt de uitwassching van het gas in tegenstroom plaats; het water uit de scrubber, dat dus verzadigd is met gas, ontspant zich in een waterturbine. Waterturbine en centrifugaalpomp zijn op één as gekoppeld aan den aandrijfmotor, waardoor circa 40% krachtsbesparing bereikt wordt.

Het water, dat in de turbine ontspannen is en gasbelletjes bevat, stroomt naar gesloten reservoirs; de vrijkomende tankgassen worden bij het restgas gevoegd. Daarna wordt het water gepompt boven in een uitblaastoren. Onder in dezen toren wordt lucht ingeblazen met groote ventilatoren. In dezen toren vindt dus ontgassing plaats van het waschwater; na de ontgassing wordt hetzelfde water weer opnieuw door de hooge druk centrifugaalpomp aangezogen, waardoor de waterkringloop voltooid is.

Het gas, dat de drukwassching is gepasseerd bevat nog sporen $CO_2$, $H_2S$, enz. Om deze laatste sporen verontreinigingen te verwijderen wordt het gas steeds onder den druk van 12 atm. nogmaals uitgewasschen met circuleerende loogoplossing, die ongeveer 6—8% Na-hydroxyde (NaOH) bevat.

De uitwassching geschiedt eveneens volgens het tegenstroomprincipe in loogscrubbers, waarvan er twee achter elkaar geplaatst zijn. De loogoplossing wordt omgezet tot Na-carbonaat (*soda*); de z.g. afgewerkte loog wordt afgelaten en in een afzonderlijke installatie geregenereerd met behulp van kalk. Dit causticeeringsproces maakt het mogelijk met een betrekkelijk klein verlies groote hoeveelheden koolzuur aan kalk te binden en op deze wijze te verwijderen.

We zijn thans gekomen aan het belangrijkste deel van de fabriek, de winning van $H_2$ uit het gas door achtereenvolgende condensatie van alle andere bestanddeelen. Het condensaat wordt weer verdampt en hiermede wordt aan nieuw toestroomend gas warmte onttrokken.

De apparatuur bestaat in wezen uit een zeer ingewikkeld stel warmtewisselaars, waarin het gas onder druk afgekoeld wordt tot een temperatuur van —196° C.

De in het gas voorkomende bestanddeelen als aethyleen, methaan en koolmonoxyde worden hierbij achtereenvolgens vloeibaar gemaakt en afgescheiden.

De bij 12 atm. druk afgescheiden fracties worden geëxpandeerd tot ongeveer atmosferischen druk, waarbij zij verdampen en sterk afkoelen. Met deze zeer koude gassen wordt zooals reeds eerder vermeld aankomend gas voorgekoeld.

De lage temperatuur van —196° C. wordt verkregen door stikstofgas op hoogen druk (150—180 atm.) te comprimeeren en hierna te expandeeren. Men maakt hierbij gebruik van het z.g. JOULE-KELVIN effect, waarbij door expansie van de hooggecomprimeerde stikstof koude ontstaat. De temperatuursverlaging, die hiermede bereikt wordt is echter zeer klein en bedraagt slechts 0,25° C. per atm. drukverschil. Hieruit volgt dat alleen met het JOULE-KELVIN-effect nooit de vereischte temperatuur van —196° C. zou kunnen worden bereikt. Daarom past men bij deze werkwijze een kunstgreep toe die bestaat in het feit, dat de geëxpandeerde koude gassen het hooggecomprimeerde gas voorkoelen. Op deze wijze wordt bereikt dat de temperatuur van het gas vóór de expansie steeds daalt en dat na de expansie op den duur de temperatuur zoo laag wordt dat stikstofgas vloeibaar wordt. Deze temperatuur is bij atm. druk —196° C. en kan beschouwd worden als de laagste temperatuur in het apparaat.

Bij deze laagste temperatuur zijn vrijwel alle componenten in het gas alleen bestaanbaar in vloeibaren toestand. Alleen de waterstof en een gedeelte van de stikstof en het koolmonoxyd blijven in gasvorm over. Om het gas van dit koolmonoxyde verder te zuiveren wordt als laatste bewerking het diep afgekoeld gas uitgewasschen met vloeibare stikstof. Er heeft in de waschkolom een rectificatie plaats, waarbij het koolmonoxydgehalte terugge-

bracht wordt van 0.2 à 0.3% vóór tot 0.01% na de rectificatie.

Het aldus gewonnen gas is geen zuivere waterstof; het gasmengsel dat verkregen wordt bestaat uit ongeveer 87% $H_2$ en 13% $N_2$. Door suppletie van stikstof wordt dit mengsel gecorrigeerd op 75% $H_2$ en 25% $N_2$, welk mengsel noodig is voor de ammoniak synthese.

Bij de behandeling van de gassplitsing is nog niet vermeld op welke wijze de stikstof in zuiveren vorm uit de lucht wordt verkregen. We weten dat lucht voor ongeveer 4/5 deel uit stikstof bestaat; de rest is zuurstof + edelgassen.

De luchtsplitsing geschiedt in afzonderlijke apparaten, waarin vloeibare lucht wordt gerectificeerd. Hiertoe wordt lucht door afzonderlijke luchtcompressoren tot 26—28 atm. gecomprimeerd; vervolgens wordt deze lucht in koelers met vloeibare ammoniak afgekoeld tot —45° C., waarna expansie volgt tot 6,5 atm. Ingevolge het JOULE-KELVIN-effect daalt de temperatuur tot —190° C. Bij deze temperatuur wordt in het eerste rectificatietoestel de splitsing in zuivere stikstof (99,99% $N_2$) en ruwe $O_2$(37% $O_2$ en 63% $N_2$) voltrokken. Na ontspanning van het vloeibaar mengsel van $N_2$ en $O_2$ tot 1,4 atm. heeft in een zeer vernuftig geconstrueerde tweede kolom de tweede rectificatie plaats, zoodat als eindproducten ontstaan: zuivere stikstof met ongeveer 0.01% $O_2$ en zuivere zuurstof met 0.4—0.2% $N_2$.

De stikstof wordt zooals vermeld gebruikt voor de ammoniak synthese; de zuurstof vindt in hoofdzaak toepassing bij de bereiding van salpeterzuur, waarover later meer.

De werkwijze die door MEKOG wordt toegepast is de methode van LINDE. Hoewel deze methode thans eenvoudig lijkt, werd eerst na den oorlog begonnen de waterstof uit de rijk vloeiende bron van cokesovengas aan te boren. De reden daarvan was, dat men vreesde voor verstoppingen in de apparaten door het invriezen van de verschillende bestanddeelen van het gas. De groote Fransche

uitvinder GEORGE CLAUDE, naar wiens procédé vele fabrieken werken zegt ervan: „J'ai longtemps hésité d'attaquer ce mélange effroyable, composé de toutes les hydrocarbures de la chimie."

Toch is de uitwerking van het probleem meegevallen, zoodat momenteel de gassplitsing door middel van lage temperaturen op zeer groote schaal wordt toegepast, zij het ook met een krachtverbruik, dat op zich zelf klein is, maar theoretisch toch nog veel te hoog kan worden genoemd. Wij zijn dus nog niet aan het einde van de technische ontwikkeling van deze methode, en eerlang zal het krachtverbruik de theoretische waarde benaderen. Thermodynamisch is nl. af te leiden dat met een zeer groot oppervlak der warmtewisselaars en in een volkomen geïsoleerd systeem alleen koude moet worden geleverd in den aanvang van de diepkoeling. Is het apparaat in bedrijf, dan is de hoeveelheid koude, die ontstaat bij expansie van de vloeibare fracties meer dan toereikend om het koude evenwicht in stand te houden. In de praktijk blijkt echter voortdurend een koude suppletie noodig te zijn t.g.v. onvolmaaktheden in de koude overdracht en t.g.v. instraling, waarmede spoedig aanzienlijke hoeveelheden koude verloren gaan, welke verliezen slechts ten koste van veel energie zijn te dekken, doordat deze koude verwekt moet worden op zulk een laag temperatuurniveau. Technisch is dus nog veel te bereiken door doelmatigen bouw van de warmtewisselaars en door doelmatige keuze van isolatiemethoden en materialen.

We zijn nu gekomen tot de eerstvolgende afdeeling van de fabriek, nl. *de synthese afdeeling.*

Hierin wordt uit het mengsel van 75% $H_2$ en 25% $N_2$ ammoniak gemaakt, welke reactie wordt voorgesteld door de vergelijking:

$$N_2 + 3H_2 \rightleftarrows 2NH_3 + 22 \text{ cal.}$$
$$4 \text{ vol.} \qquad 2 \text{ vol.}$$

We zien onmiddellijk uit de gegevens, dat deze reactie vrij sterk exotherm is, d.w.z. met warmteontwikkeling gepaard gaat.

Verder is de reactie een evenwichtsreactie, hetgeen voorgesteld

wordt door het teeken $\rightleftarrows$ hetgeen beteekent, dat voor elke temperatuur en druk het evenwicht zich instelt bij een bepaald ammoniakgehalte in het gasmengsel.

Dit evenwicht is door Prof. HABER bepaald. Uit de leer van het chemisch evenwicht, waarover niet verder zal worden uitgewijd volgen de volgende stellingen, die men bij de technische uitvoering van het proces dient in acht te nemen:

*a.* meer $NH_3$ kan worden gemaakt door de reactiewarmte goed af te voeren, dus door bij lage temperaturen te werken;

*b.* meer $NH_3$ wordt gevormd door den druk te verhoogen;

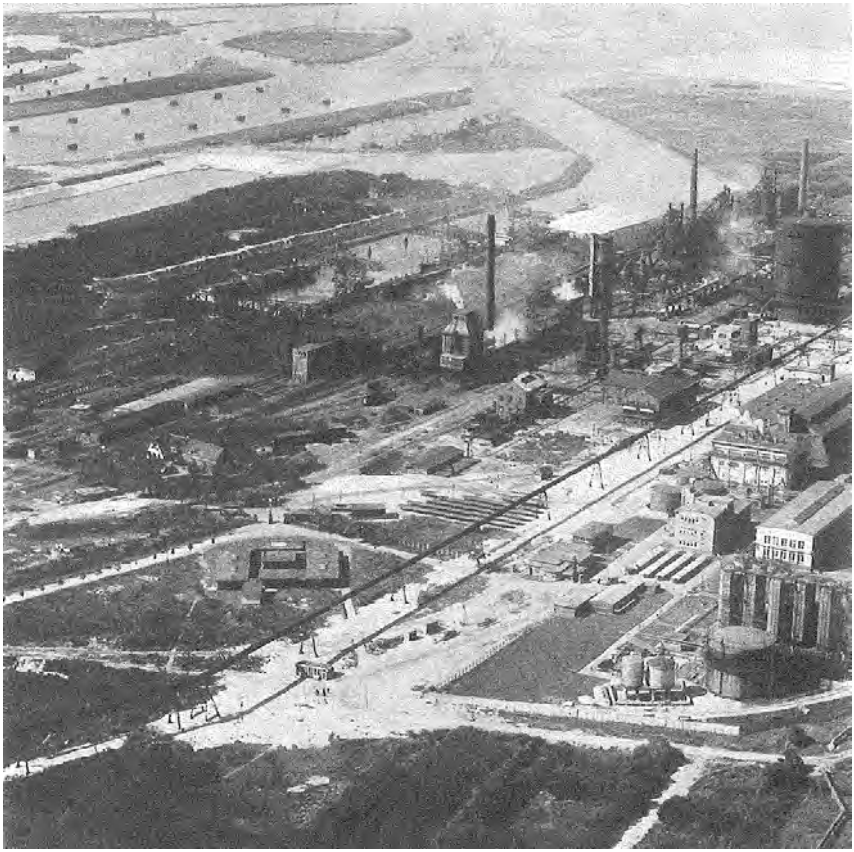
*c.* de reactie wordt gunstig beïnvloed, wanneer het gevormde $NH_3$ uit het mengsel zoo goed mogelijk wordt verwijderd.

Nu zijn de genoemde theoretische gegevens betreffende het chemisch evenwicht voor een industrieele toepassing van de reactie nog niet voldoende. In de praktijk hangt de kostprijs af van de snelheid van de reactie. Uit de schooljaren herinneren wij ons dat de reactiesnelheid in het algemeen verdubbeld wordt door 10° C. temperatuurverhooging; voor het geval van de ammoniakreactie blijkt echter dat zelfs bij 300 atm. druk en 450° C. $H_2$ en $N_2$ zoo langzaam reageeren, dat het weken zou duren voordat een noemenswaardig gedeelte van het synthesemengsel tot $NH_3$ vereenigd zou zijn. Om nu de reactie te versnellen maakt men in de praktijk gebruik van katalysatoren.

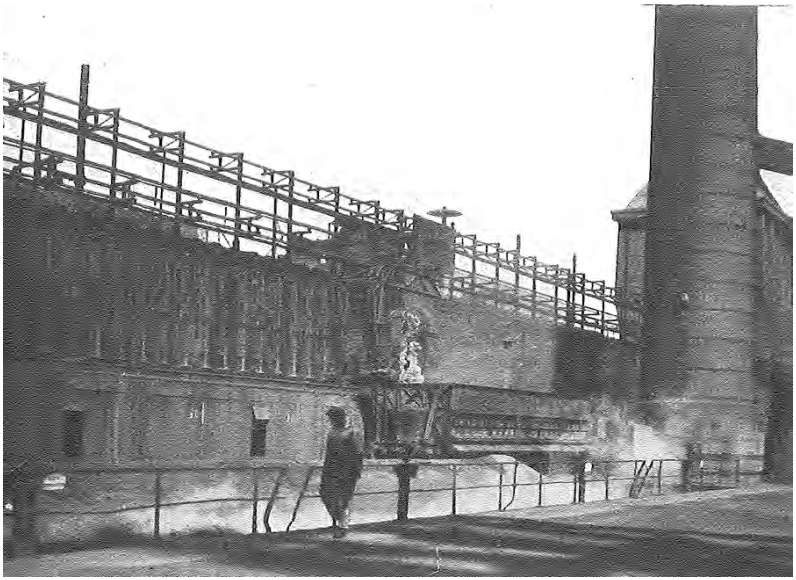
Gaan we thans over tot de behandeling van de toegepaste werkwijze.

MEKOG past bij de $NH_3$-synthese een werkdruk toe van 120—150 atm. en een gemiddelde temperatuur van 450—480° C. in de ovens.

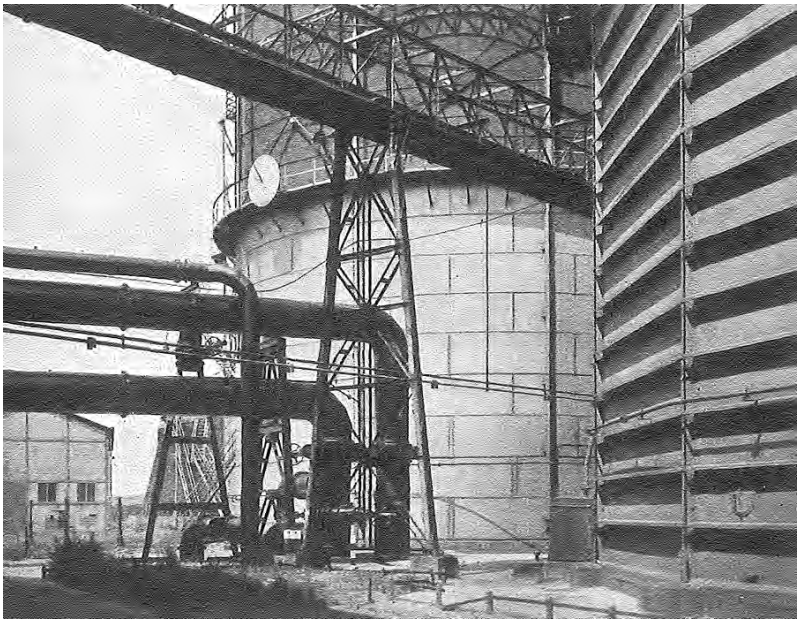
Het synthesegas, bestaande uit 75% $H_2$ en 25% $N_2$ wordt door afzonderlijke compressoren op den genoemden werkdruk gebracht, waarna dit gasmengsel wordt gevoerd door de prékatalyse-ovens. In deze ovens, die gevuld zijn met katalysatormassa, worden bij ongeveer 200—250° C. de laatste sporen koolmonoxyd (CO) ver-



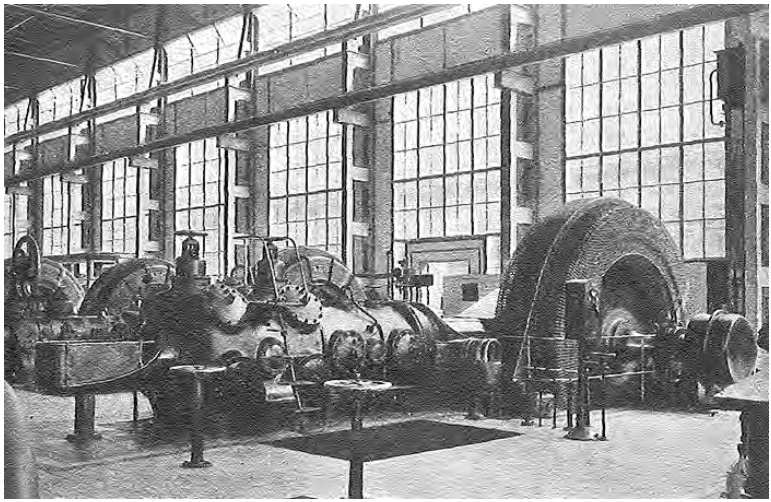
Mekog en Hoogovens IJmuiden Foto K.L.M.



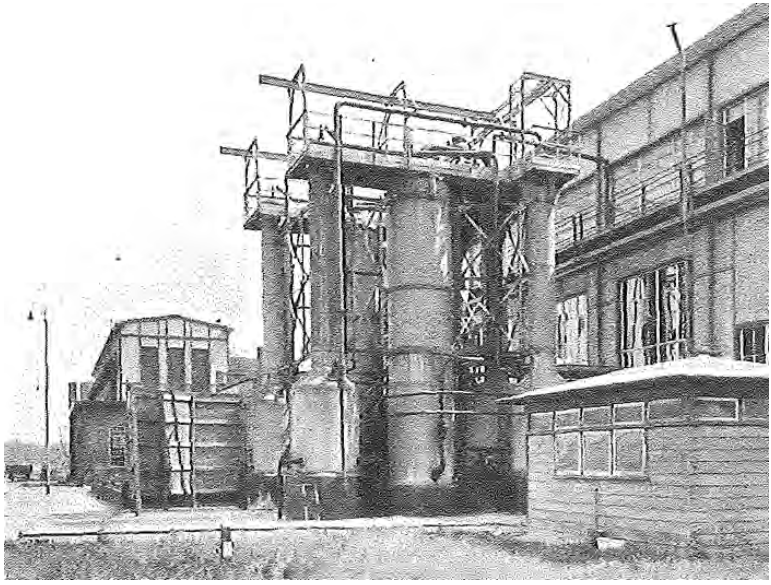
Cokesbatterij Hoogovens



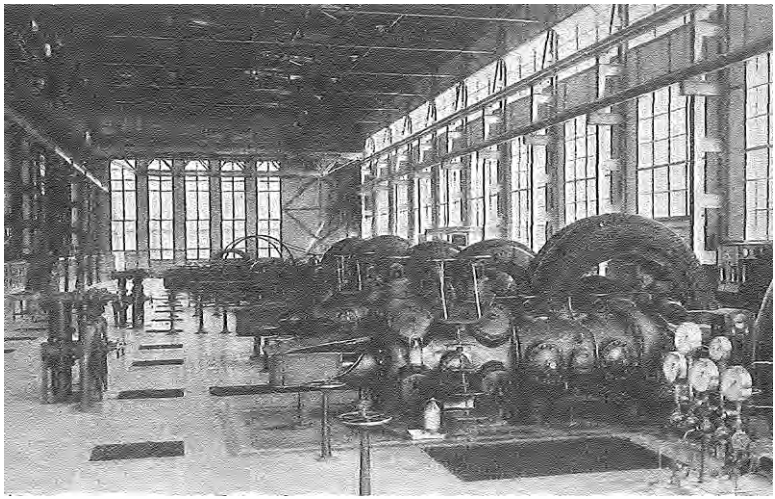
Cokesgasleiding en Gashouder



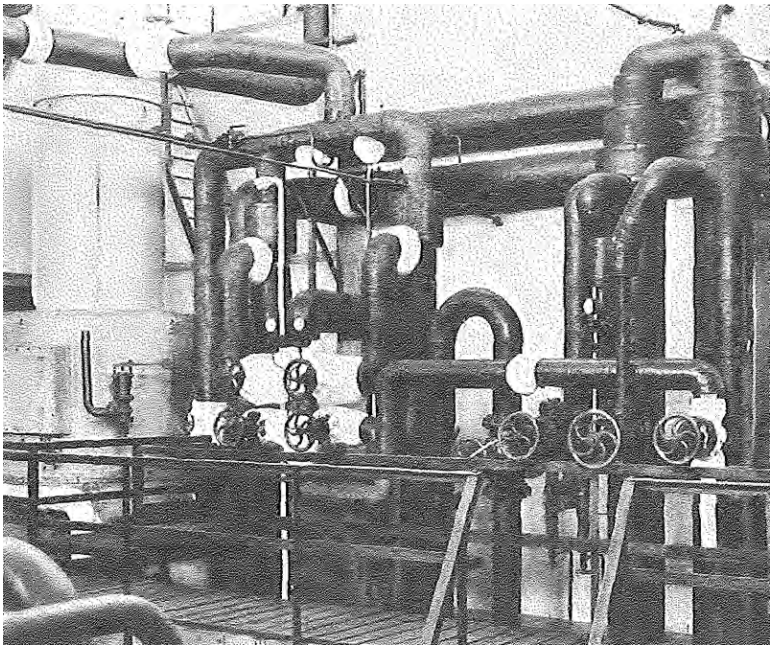
Cokesgascompressor



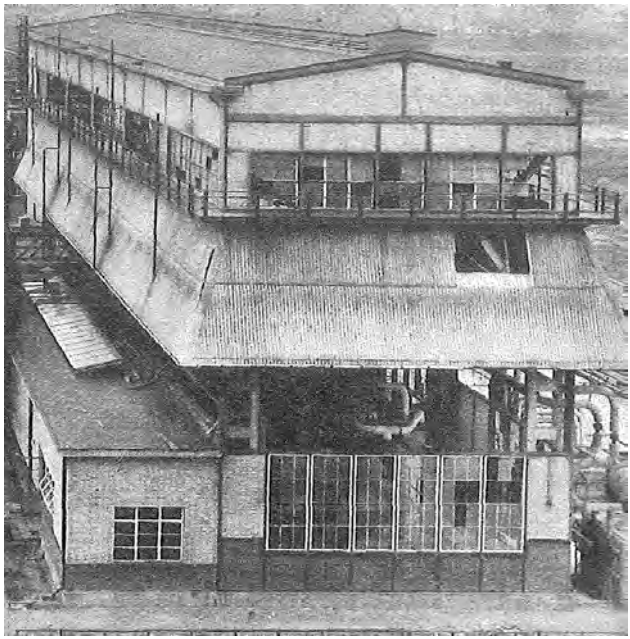
Waterscrubbers voor de gaszuivering van koolzuur



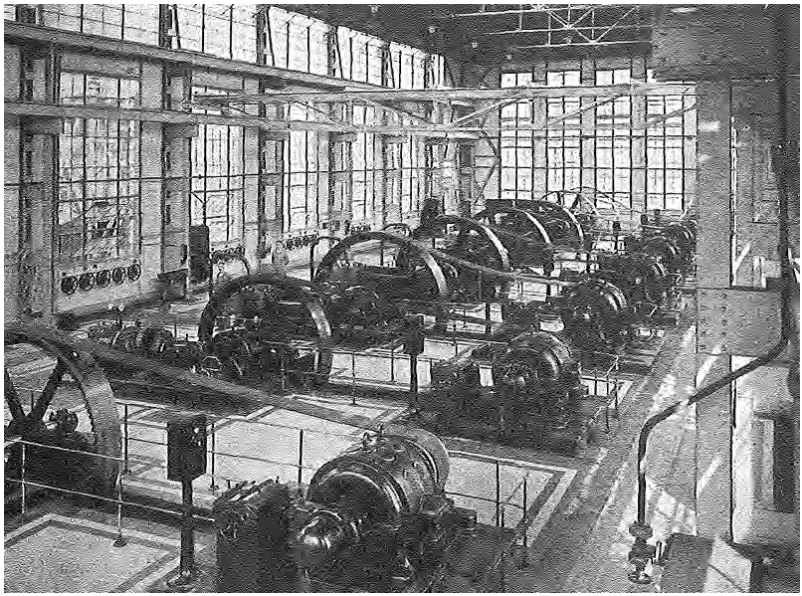
Compressorhal Gassplitsing



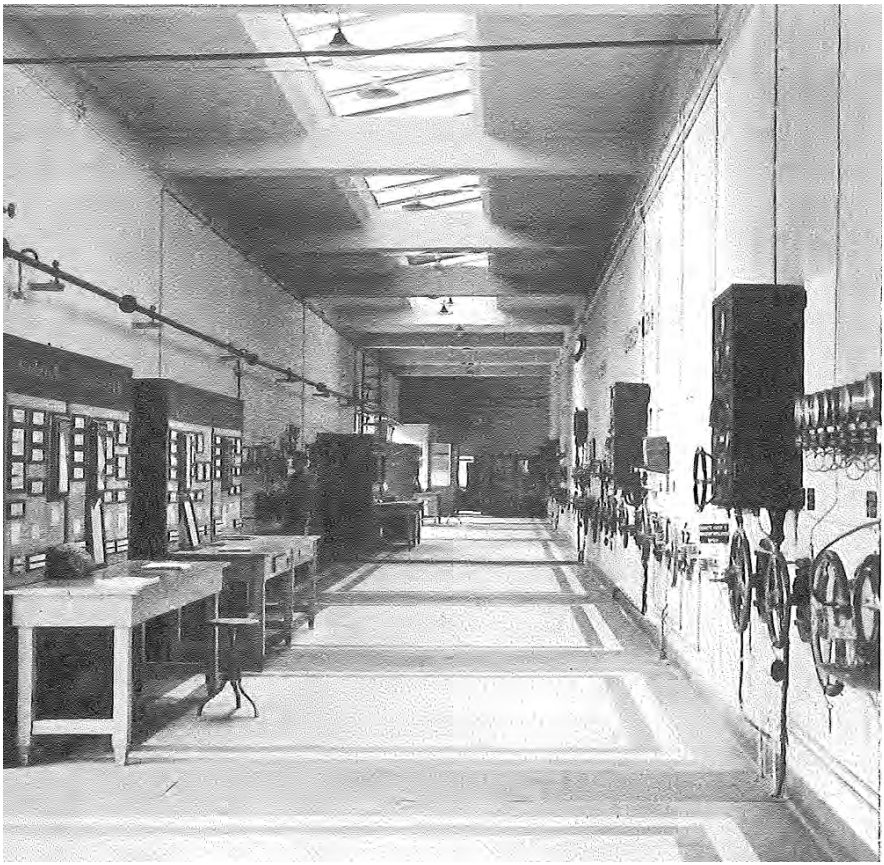
Luchtscheidingsapparaat



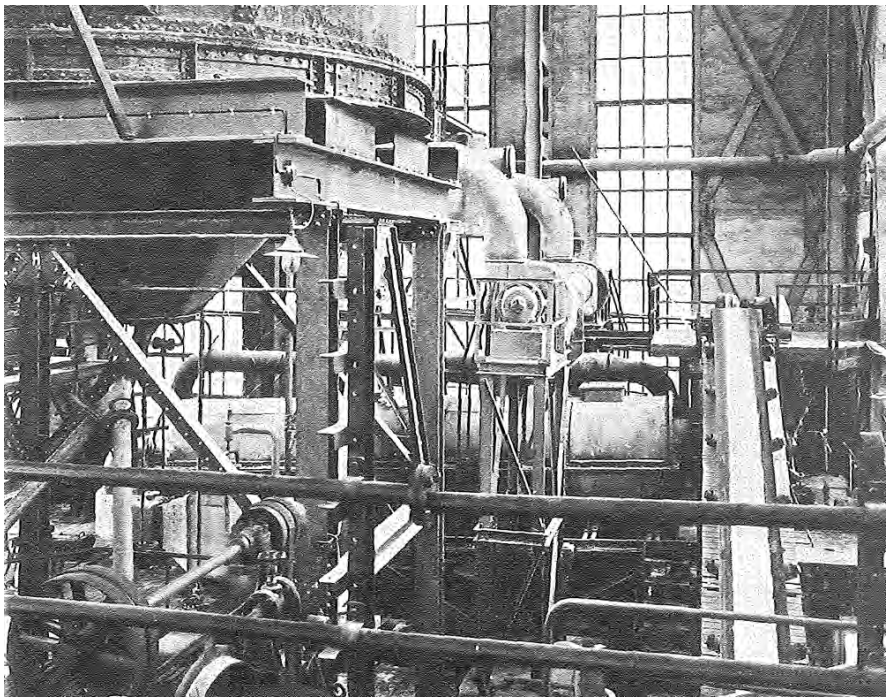
Ovenhuis (synthese)



Compressorhal II. Synthese omlooppompen

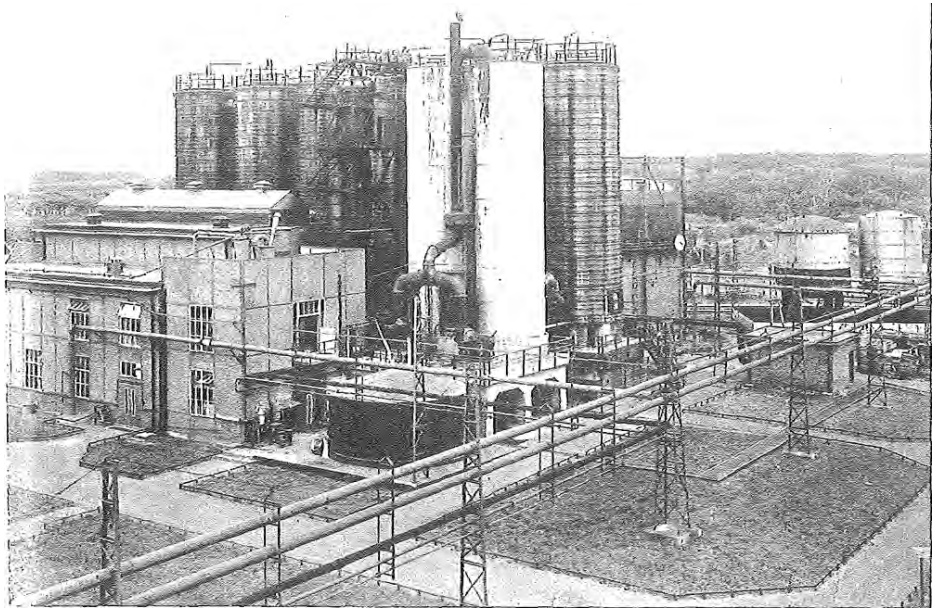


Bedieningsgang Synthesegebouw

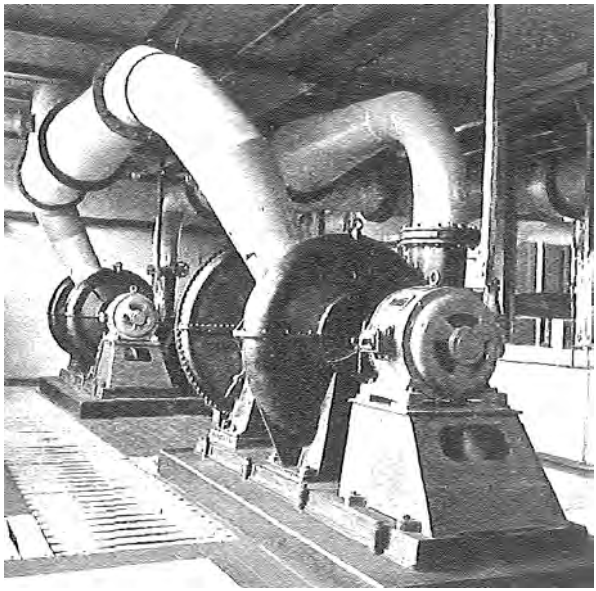


Zwavelzure ammoniakfabriek

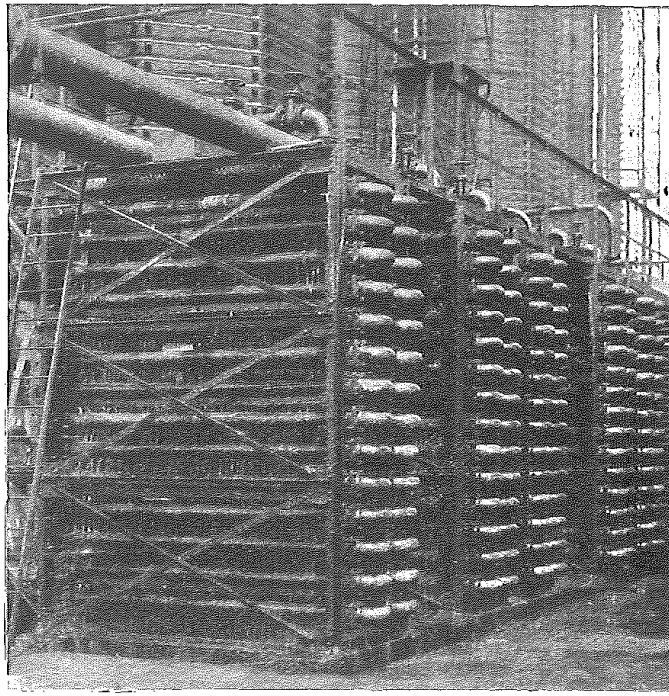
Opslagloods voor zwavelzure-ammoniak met „krabber"



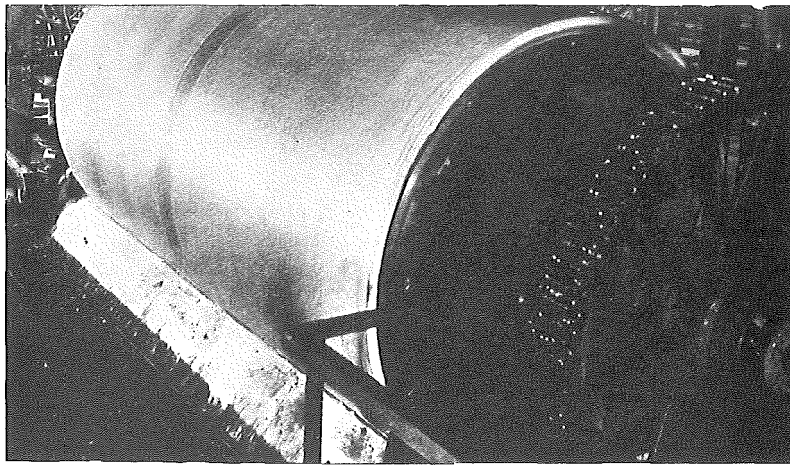
Salpeterzuurfabriek met granietentorens



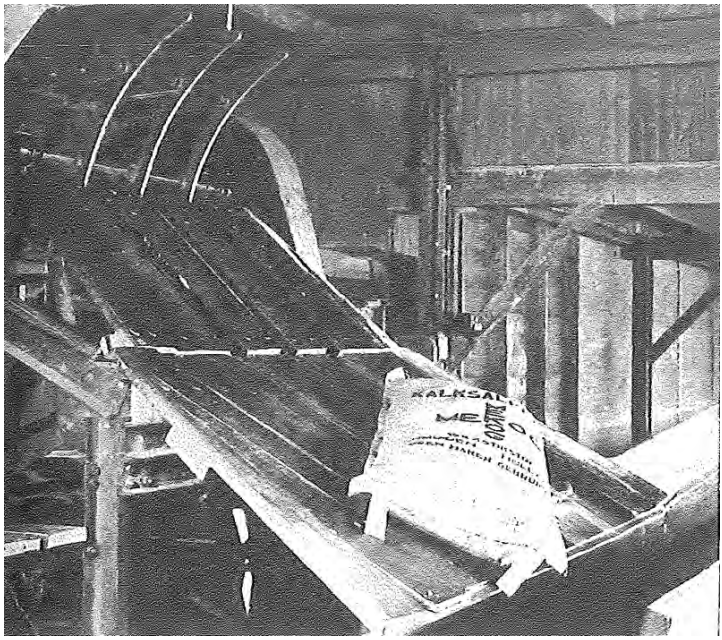
Salpeterzuurfabriek. Ammoniak-lucht ventilatoren



Salpeterzuurfabriek. Ferro-silicium koelers bij de granieten torens



Kalksalpeterfabriek. Koelwals



Transport-installatie. Kalksalpeter

Zakkenopslag van kalksalpeter

wijderd. De zuivering strekt zich uit van 0,01% vóór tot 0,001% CO na de prékatalyse.

We zien dus dat het synthesemengsel beantwoordt aan zeer hooge eischen betr. de zuiverheid ten opzichte van CO. Aan deze voorwaarde moet beslist worden voldaan, daar de ammoniak-katalysator zeer gevoelig is voor CO en bv. door 0,01% CO volkomen inactief wordt gemaakt binnen enkele uren.

In de prékatalyse-ovens worden de kleine hoeveelheden CO omgezet tot methaan ($CH_4$) en water ($H_2O$). Deze omzettingsproducten worden na de prékatalyse grootendeels verwijderd door het synthese-gasmengsel bij —25° C. onder hoogen druk (130—150 atm.) uit te wasschen met vloeibare $NH_3$, welke door de synthese zelf is gemaakt. (Zie later).

Eerst nu is het mengsel bruikbaar om in de synthese-ovens tot ammoniak te worden verwerkt.

Het synthese-systeem bestaat uit een kringloop waarin een omlooppomp is geschakeld. Deze pomp circuleert een gasmengsel door den oven, gevuld met katalysatormassa. Het gas komt uit den oven met ongeveer 10% $NH_3$. In warmtewisselaars wordt het warm gas afgekoeld door toestroomend gas, vervolgens wordt de reactiewarmte afgevoerd met koelwater en daarna wordt het gasmengsel diep gekoeld tot —25° C. In de koelapparatuur condenseert het gevormde $NH_3$-gas tot vloeistof. Deze vloeistof wordt door vloeistofpompen gepompt naar de waschkolommen (zie boven) en daarna geëxpandeerd op 1,4 atm. druk in groote tanks.

De aldus verkregen koude vloeistof dient ter afkoeling van het circuleerend gasmengsel, waarbij de $NH_3$ verdampt en verder wordt verwerkt tot diverse producten.

De omloopcompressor zuigt dus het gas aan dat in de koelapparatuur van $NH_3$ is bevrijd en perst dit mengsel weer door den oven, waarmede de kringloop is voltooid. Door de vorming van $NH_3$ in de ovens, de daaropvolgende condensatie en verwijdering van deze $NH_3$ uit het systeem, wordt het gasmengsel verbruikt, zoodat

de druk in het systeem zou dalen, indien niet regelmatig nieuw gasmengsel in den kringloop werd gesuppleerd. Deze hoeveelheid is dus juist even groot als het aequivalent aan $NH_3$ dat gevormd wordt.

MEKOG werkt met 2 eenheden, welke per etmaal circa 48—50.000 kg stikstof in den vorm van ammoniak kunnen binden. Een klein gedeelte van de ammoniak wordt in stalen cylinders geperst. Dit product vindt vooral toepassing voor koeldoeleinden (ijsfabrieken, bierbrouwerijen, koelhuizen, zuivelfabrieken).

We zijn nu gekomen tot de verdere verwerking van het gevormde ammoniak tot diverse kunstmestproducten.

Ammoniak is een gas en als zoodanig dus niet bruikbaar als meststof.

De primair gebonden stikstof, d.w.z. $NH_3$ moet dus „chemisch verpakt" worden, waaronder is te verstaan gebonden aan zuren, waarbij zouten ontstaan, die in poeder of kristalvorm als meststof kunnen worden gebruikt.

De eenvoudigste manier om ammoniakgas vast te leggen bestaat daarin, dat men het bindt aan zuren; wij gebruiken hiervoor het zwavelzuur, dat het goedkoopst is, terwijl het bindingsproces aan dit zuur eenvoudig is. Er ontstaat zwavelzure ammoniak, ook wel *amm. sulfaat* genoemd.

Het benoodigd zwavelzuur is in den regel 60° Beaumé-zuur, dat volgens het looden kamer procédé wordt vervaardigd; de sterkte van dit zuur is ongeveer 75%.

Voor de bereiding van het sulfaat wordt $NH_3$-gas geleid in z.g. saturatoren.

Dit zijn reactievaten van zuurbestendig materiaal, gevuld met een warme, verzadigde oplossing van amm. sulfaat, die nog circa 1% vrij zwavelzuur bevat.

Naarmate zwavelzuur wordt verbruikt, voegt men nieuw zuur aan het bad toe.

Het zout, dat zich als een dikke kristalbrei in de saturatoren afzet, wordt hieruit door centrifugeeren verwijderd en gedroogd. De moederloog van de centrifuges wordt via een verzamelput in de saturatoren teruggepompt, terwijl het droog zout door middel van een transportband vervoerd wordt naar de zoutloods, van waaruit het verladen wordt met een krabbermachine.

De op deze wijze verkregen zwavelzuurammoniak vormt een wit, kristallijn, neutraal product, dat goed strooibaar is en circa 21% stikstof in den vorm van ammoniak-stikstof bevat.

Verreweg het grootste gedeelte van de geproduceerde ammoniak wordt verwerkt tot *salpeterzuur* in de salpeterzuurfabriek.

Hiertoe moet het ammoniakgas worden „verbrand". Deze verbranding of oxydatie wordt tot stand gebracht door het ammoniakgas na vermenging met lucht en met de bij de luchtsplitsing verkregen zuurstof (zie boven) met groote snelheid door een verbrandingsruimte te leiden over netten van fijn geweven platina. Er heerscht daarbij een temperatuur van 750° C., waarbij het platina roodgloeiend is. Platina is de katalysator, de zuurstof verbindt zich onder deze omstandigheden met de stikstof uit de ammoniak tot het stikstofoxyd (NO). De activiteit van den Pt-katalysator is zeer groot, de contacttijd tusschen gasmengsel en Pt bedraagt niet meer dan enkele duizendste secunden.

Vervolgens wordt dit oxydatieproduct in een zestal granieten torens van 20 meter hoogte met een totaal inhoud van 1800 $m^3$ verder geoxydeerd tot het stikstofdioxyd ($NO_2$) en in water geabsorbeerd tot salpeterzuur. Bij deze reacties treedt een aanzienlijke warmteontwikkeling op, zoodat de salpeterzuuroplossing, die de torens doorloopt, voortdurend gekoeld moet worden. De koeling geschiedt met behulp van zeewater in de bij de granieten torens behoorende absorptiekoelers.

Nu is salpeterzuur een stof, die bijzonder corrodeerend werkt, zoodat de apparatuur niet kan bestaan uit ijzer. In de salpeterzuur-

fabriek bestaan de apparaten daarom of uit graniet of uit edelstaal, dat salpeterzuur-bestendig is. Hiervoor wordt een Ni-Chroom-legeering gekozen, die bekend staat onder den naam $V_2A$-staal. De koelers die met zeewater gekoeld worden bestaan uit ferro-silicium.

Het geproduceerd salpeterzuur heeft een sterkte van ruim 50% en is als zoodanig niet als meststof bruikbaar. Het grootste gedeelte wordt direct verder verwerkt tot *kalksalpeter* in de kalksalpeter-fabriek.

Een klein deel wordt als chemisch zuiver salpeterzuur afgeleverd voor toepassing in de chemische industrie. De verzending geschiedt in pottenwagens, dat zijn spoorwagens, waarop een twaalftal aarde-werkpotten zijn gemonteerd, die tezamen 15000 kg salpeterzuur kunnen bevatten.

*Kalksalpeter* in hoofdzaak bestaande uit Ca-nitraat wordt bereid uit salpeterzuur en kalksteen.

Het geproduceerd zuur wordt geleid in oplostanks, waarin zich brokken kalksteen bevinden. De kalksteen, een harde, blauwgrijze steensoort, die voornamelijk uit koolzure kalk bestaat, lost betrek-kelijk snel op in salpeterzuur, onder vorming van een oplossing van Calcium-nitraat en afgifte van koolzuur. De aldus verkregen op-lossing wordt, na toevoeging van een weinig salpeterzuur-ammoniak, gefiltreerd en de verkregen zuivere kalksalpeteroplossing wordt dan onder verminderden druk in verdampers ingedampt tot een dik-vloeibare brei. Salpeterzuur-ammoniak wordt toegevoegd om het kristallisatieproces in de brei te bevorderen.

De heete brei loopt met een temperatuur van ongeveer 130° C. vervolgens in een bak, waarin een z.g. koelwals draait. Op deze trommel blijft een laagje van ongeveer 1,5 mm dik hangen. Van binnen wordt de trommel met water gekoeld, waardoor het dunne laagje hard wordt. Deze laag wordt met een mes afgeschraapt, waardoor schilfers kalksalpeter ontstaan. De schilfers worden op

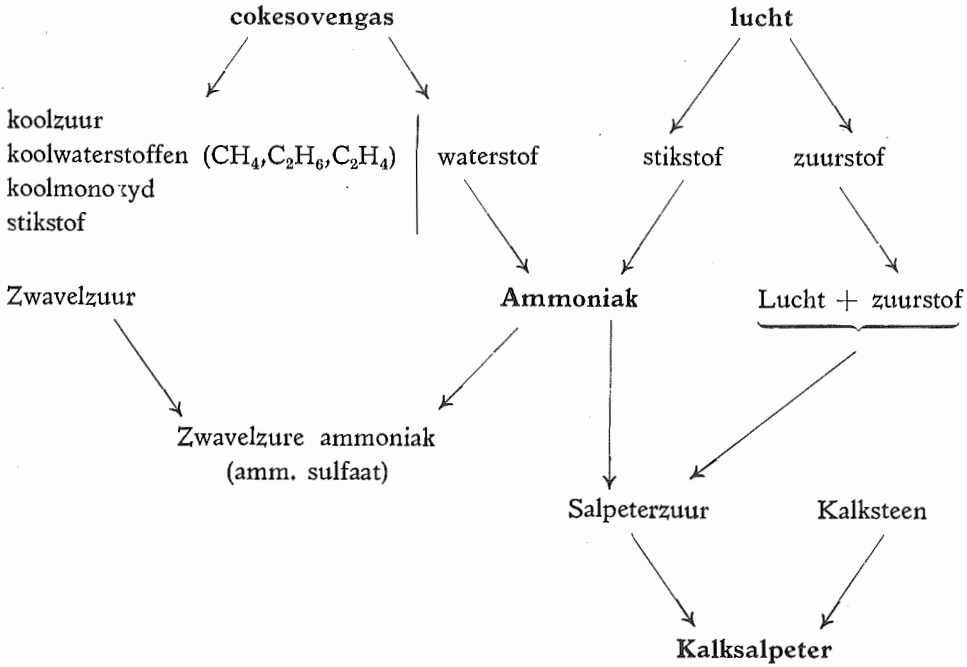
de gewenschte grootte gebroken en daarna stofvrij uitgezeefd.

Het eindproduct wordt in goedsluitende, geprepareerde jute of papieren zakken van 100 kg en 50 kg gebracht en opgeslagen in de kalksalpeterloods.

De kalksalpeter is een helder wit zout met 15.5% stikstof en ongeveer 28% kalk.

De stikstof is voor 14,5% aanwezig als salpeter- en voor 1,—% als ammoniakstikstof.

Resumeerende wordt het algemeen fabricage-schema aldus:



# GEOLOGISCHE EXPERIMENTEN IN VERBAND MET DE ZWAARTEKRACHTS-ONDERZOEKINGEN VAN VENING MEINESZ

door

Dr. PH. H. KUENEN.

---

Teneinde een goed begrip te krijgen van de beteekenis van de proeven is het noodig eerst een overzicht te hebben van de voorstelling, die men zich maakt van de bouw van de aardkorst en de bewegingen die daarin optreden.

I. *De aardkorst.*

A. Onder isostasie verstaat men de leer, dat de aardkorst in drijvend evenwicht verkeert. Meestal veronderstelt men om dit te verklaren, dat het buitenste gedeelte van de aarde uit twee lagen bestaat. De bovenste heeft een soortelijk gewicht van ongeveer 2,8, overeenkomende met een granietachtige samenstelling. Deze laag drijft op de zwaardere onderlaag met een soortelijk gewicht van ongeveer 3,2 waarvan de samenstelling zoowat overeen moet komen met basalt. De bovenlaag omspant niet de heele aarde, maar is alleen te vinden op de plaatsen waar continenten liggen. Op de oceaanbodem komt de zware onderlaag bloot. De continenten, die men een 50-tal km. dik schat, zijn vergelijkbaar met drijvende ijsbergen, waarvan immers ook het grootste deel ondergedompeld is.

Daar men zich bovendien moet voorstellen, dat de continenten

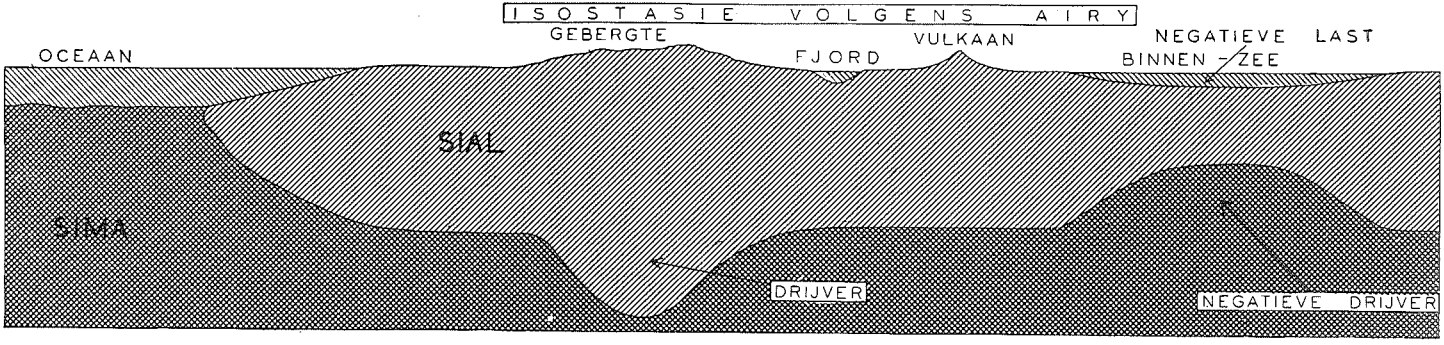

ISOSTASIE VOLGENS AIRY
GEBERGTE
VULKAAN
NEGATIEVE LAST
OCEAAN
FJORD
BINNEN-ZEE
SIAL
SIMA
DRIJVER
NEGATIEVE DRIJVER

Fig. 1.

niet star zijn, maar plastisch, buigbaar, drijven ze niet als één geheel doch meer als een aaneengesloten vloot schepen. Ieder onderdeel bevindt zich apart in drijvend evenwicht. Wordt één schip beladen, dan zakt het wat weg; wordt één deel ontlast, dan stijgt het alléén omhoog. Op deze wijze wordt verondersteld, dat om een gebergte boven een stuk land uit te doen steken, onderaan de korst een drijverlichaam een opwaartsche druk moet uitoefenen. Omgekeerd zal de lichte aardkorst onder de zeebodem dunner zijn, in de diepste oceanen zelfs ontbreken. Niet iedere topografische karaktertrek vereischt een overeenkomstige complicatie aan de onderzijde van de korst, want deze is sterk genoeg om een delta of losse berg (bijv. een vulkaan) te dragen. Het zijn alleen de grootere trekken, zooals een heel gebergte, een uitgestrekte hoogvlakte, of een zeearm van honderdtallen km.$^2$ oppervlakte, die individueel gecompenseerd worden door een omgekeerde massa aan de onderzijde van de korst (zie fig. 1).

Hoe is men er nu toe gekomen om deze drijf-hypothese van de aardkorst op te stellen? In hoofdzaak berust deze op de uitkomsten van het zwaartekrachtsonderzoek. Afgezien van complicaties tengevolge van de aswenteling van de aarde enz., is overal de waarde van de zwaartekracht ongeveer gelijk. Dit wil zeggen, dat de kolommen onder alle vierkante kilometers van het aardoppervlak even zwaar wegen. Immers indien de eene zuil zwaarder was dan de andere, dan zou deze extra massa een vergrooting van de aantrekkingskracht ter plaatse veroorzaken.

Nu wordt aan de eisch van uniform gewicht per kolom juist voldaan wanneer deze kolommen in drijvend evenwicht verkeeren. Dit is gemakkelijk in te zien wanneer men overweegt, dat een drijvend voorwerp evenveel weegt als de verplaatste hoeveelheid vloeistof. Aangezien alle even groote zuilen in de vloeistof, voordat er iets in drijft, evenveel wegen, zal de regel van uniform gewicht per kolom ook blijven bestaan, wanneer een aantal drijvende voorwerpen hun gewicht aan vloeistof gaan vervangen.

Hoewel er nog andere theoretische massa-verdeelingen denkbaar zijn, waarbij aan de wet van gelijkblijvende zwaartekracht wordt voldaan, is er geen zóó eenvoudig als de veronderstelling van drijvend evenwicht van twee homogene lagen.

Men zou nu kunnen veronderstellen, dat deze toestand van drijvend evenwicht geërfd was uit een lang vervlogen jeugdstadium van de aarde, toen deze nog heet en plastisch was. De feiten toonen echter aan, dat de korst volstrekt nog niet verstard of dood is, maar zich voortdurend en tot op de huidige dag aan elke belasting of ontlasting aanpast door weg te zinken of op te rijzen. In gebergten vindt een steeds voortgaande afslijping plaats, terwijl in de vlakte en op de zeebodem de last weer wordt afgezet. Ware de aardkorst niet meer in staat zich geregeld aan deze massa transporten aan te passen, dan zou op den duur het isostatische evenwicht volkomen verbroken zijn geworden. Deze aanpassing moet bestaan uit een verbuiging van de korst en een plastisch toevloeien of wegvloeien van de zware onderlaag.

B. Hoe verloopt het proces van de gebergtevorming? Uit de studie van de bouw van de Alpen en andere gebergten is komen vast te staan, dat de vorming van een gebergte langs de volgende stadia verloopt. Eerst wordt een lange smalle trog gevormd, waarvan de bodem zeer geleidelijk en langzaam wegzinkt. Aan weerszijden rijst een rug omhoog, waarvan de afbraakproducten in de trog gespoeld worden. Op deze wijze wordt de trog voortdurend vol gehouden en is aan de oppervlakte zelden een diepere terrein inzinking waar te nemen. Dit stadium wordt het geosynclinale genoemd en kan vele millioenen jaren duren (zie fig. 2).

Daarna begint allengs een samenpersen van de trog op te treden. De opvullende sedimenten worden aanvankelijk in golven gelegd, die langzamerhand in intensiteit toenemen, in plooien overgaan en in sommige gevallen tenslotte zelfs dakpansgewijs als schubben over elkaar worden geschoven. Dit stadium noemt men het orogenetische.

Pas nadat de trog aldus is samengeknepen, soms tot een klein percentage van zijn oorspronkelijke breedte, rijst het geheel boven zeeniveau uit en komt een gebergte in geografische zin tot stand.

Over de oorzaak van dit samenpersen loopen de meeningen zóó sterk uiteen, dat het een taak op zichzelf zou zijn daar een overzicht van te geven. We zullen de vraag van het waarom daarom laten rusten.

C. De laatste algemeene vraag betreffende de aardkorst, die wij willen beschouwen is: *de wijze waarop de wortel onder gebergten is ontstaan.*

De oudere opvattingen waren vaag, daar men het zwaartekrachtsveld nauwelijks in overweging nam. Men stelde zich voor, dat na of gedurende het samenkruien van de geosynclinale gesteenten, de aardkorst daaronder ook op elkaar schoof en onder de nieuwe last inzakte (zie fig. 3). Dit moet echter tengevolge hebben, dat de compenseerende wortel breeder wordt dan het gebergte, terwijl juist de omgekeerde verhouding regel schijnt te zijn. Evenmin wordt hierdoor verklaard, dat het gebergte eerst diep ligt en pas later tot geografische gebergterug wordt. Voor het voorafgaande geosynclinale stadium ontbreekt eveneens een logische verklaring.

De geoloog KOBER meent, dat gebergten ontstaan op plaatsen waar een slappe strook van de korst onder horizontale druk als het ware wordt uitgeknepen. Boven ontstaat het gebergte, onder de wortel. Ook hierbij blijft het onduidelijk hoe het verband met de geosynclinale is en de volgorde waarbij de terreinverheffing pas op het laatst ontstaat (fig. 3, II).

Het zou ons te ver voeren om op andere opvattingen in te gaan, die over de wortelvorming gehuldigd worden, zoodat wij meteen zullen overgaan tot de hypothese van VENING MEINESZ.

Bij het zwaartekrachtsonderzoek in Oost-Indië, heeft deze pionier kunnen vaststellen, dat er zich een lange smalle strook door de archipel slingert, waar een te lage aantrekkingskracht

heerscht. Aan weerszijden van deze band met een zoogenaamde negative anomalie, bevindt zich een strook met positieve anomalie, d.w.z. met een overschot aan zwaartekracht.

Al dadelijk kon worden vastgesteld, dat deze negatieve strook niet veroorzaakt kan zijn door een rekscheur in de korst. Ook deze zou een tekort aan zwaartekracht vertoonen, maar bovendien een smalle diepzeetrog. Integendeel blijkt de negatieve band een onderzeesche rug en een guirlande van eilanden te volgen.

VENING MEINESZ heeft voor dit verschijnsel een andere verklaring weten te vinden, die een even eenvoudige als ingenieuse oplossing geeft van verschillende problemen, die ons hebben bezig gehouden.

Hij toonde aan, dat horizontale drukkrachten de drijvende korst in golven moet leggen om bij toenemende vervorming tenslotte knikken van één trog te veroorzaken. Alleen de bovenste lagen zullen omhoog gedrukt worden en een zwakke rug vormen. Hoe verder de samendrukking gaat hoe dieper de aldus gevormde wortel van licht korstmateriaal in de zware onderlaag geperst zal worden, m.a.w. hoe sterker het tekort aan massa en aantrekkingskracht langs deze strook zal worden (fig. 3, III). Pas wanneer de druk ophoudt en isostasie zich kan gaan instellen, zal oprijzing en het vormen van een zichtbaar gebergte kunnen optreden.

Op ongedwongen wijze weet VENING MEINESZ aldus de hoofdpunten uit de gebergtevorming met elkaar in oorzakelijk verband te brengen. Gedurende het geosynclinale stadium golft de aardkorst door horizontale druk. Daarna moet een strook met negatieve anomalie ontstaan, zooals Indië thans te zien geeft, terwijl een alpien gebergte met intensieve samenschuiving van de lagen pas na beëindiging van het samenpersen boven zeeniveau uit zal stijgen.

Deze grootscheepsche conceptie vond belangrijke steun toen UMBGROVE kon aantoonen, dat de strook met negatieve anomalie in Indië nauwkeurig samenvalt met een even uitgesproken strook waar de plooiïng en samenschuiving der lagen zeer intensief is

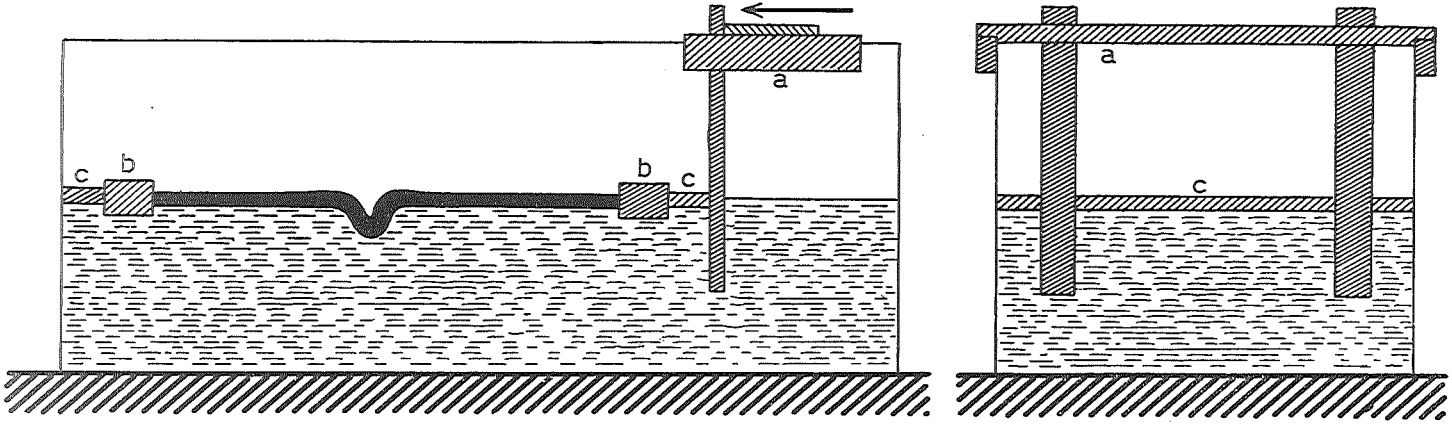



Fig. 4. Lengte- en dwarsdoorsnede van het toestel.

geweest, veel intensiever dan ergens in Indië buiten de band met zwaartekracht tekort. Aldus werd bewezen, dat deze band inderdaad ten nauwste samenhangt met gebergtevorming, hetgeen immers moest blijken als de verklaringswijze van VENING MEINESZ juist is.

II. *De experimenten.*

Het doel van de thans te beschrijven proeven was eensdeels op illustratieve wijze de knikhypothese van VENING MEINESZ in het klein te toetsen, andersdeels een paar punten tot meer klaarheid te brengen, die, zoolang men alleen over theoretische overwegingen beschikte, onduidelijk waren gebleven. Nader geformuleerd luidden de vragen: is het waar dat een drijvende, plastische laag onder horizontale druk knikt, en dat deze knik steeds omlaag gaat, nooit naar boven? Welke factoren bepalen deze richting van de knik? Is dit proces mogelijk zonder buitensporig relief aan de oppervlakte teweeg te brengen? Tenslotte: hoe splitst de korst zich in de hoofdmassa die omlaag knikt en een oppervlakkig deel, dat geplooid wordt tot een gebergte?

De inrichting van de proeven was als volgt (fig. 4).

Een flink aquarium werd half met water gevuld, voorstellende de zware onderlaag. Daarop werd een gesmolten paraffine laag gegoten, voorstellende de korst. De temperatuur van het water werd tot even beneden het smeltpunt van de korst opgevoerd, om deze goed plastisch te maken. De horizontale druk werd uitgeoefend via een drijvend balkje, dat tegen de korst werd aangeduwd. Hiermede werden twee series proeven genomen.

Bij de eerste serie bestond de korst uit zuivere paraffine. Onder voorzichtig toepassen van druk bleek de korst inderdaad eerst in een aantal golven te plooien, waarna plotseling één golfdal omlaag schoot in een knik (fig. 5). Werd van tevoren een kleine belasting in een strook over de korst aangebracht, dan werd het gegolfde stadium overgeslagen en de knik omlaag trad onmiddellijk op.

Het bleek zelfs onmogelijk te zijn de korst omhoog te doen knikken. Werd bijv. een drijver onder de korst gebracht in de vorm van een houtje, dan ontwikkelde zich wel eerst een golfberg, maar de aansluitende golfdalen namen spoedig de overhand en, zoowel dalen als berg met drijver werden tenslotte gezamenlijk omlaag uitgeknepen (fig. 6).

Ook werd een proef genomen met een korst van meer plastisch materiaal op onverwarmd water drijvende, waarbij wederom een knik omlaag ontstond.

Deze eerste serie proeven bewees, dat een drijvende, plastische laag door horizontale druk inderdaad omlaag knikt. In het geval van de aardkorst behoeft de oorzaak niet gezocht te worden in de kromming van het oppervlak, het belasten van de geosynclinale door sedimenten of de hoogere temperatuur op grootere diepte. Volgens de experimenten moet er een andere reden zijn om de knik omlaag te richten. Nadere overweging toont aan, dat een omhoogknikkende laag het vervangen van lucht door korstmateriaal vereischt, terwijl bij het omlaag gaan een gelijke hoeveelheid substraatmateriaal vervangen wordt. Het eerste geval vereischt een veel grootere energie hoeveelheid, daar het s.g.-verschil korst-lucht eenige malen zoo groot is als het s.g.-verschil ondergrond-korst.

Hoewel deze serie proeven ons dus een groote stap verder gebracht hebben, is er één opzicht waarin de resultaten nog niet bevredigen. De hoogteverschillen die aan de korstoppervlakte optreden, zijn vele malen de dikte van de korst. Op aardsche schaal overgebracht zouden dit bergen en dalen van honderden kilometers hoogteverschil beteekenen. De oorzaak is niet ver te zoeken. Ten opzichte van de dikte was de modelkorst lang niet plastisch genoeg. Dit wordt bevestigd wanneer men een berekening tracht te maken van de vereischte sterkte van het materiaal in het model.

In een tweede serie proeven werd daarom gebruik gemaakt van een veel plastischer materiaal, verkregen door de paraffine

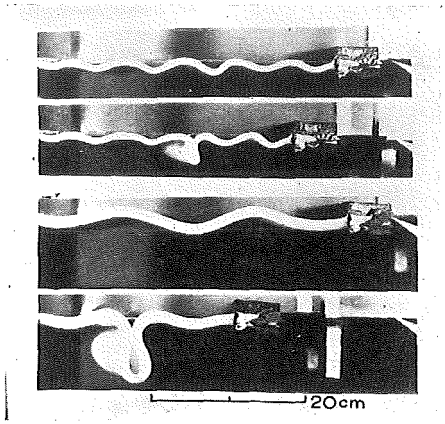



Fig. 5.
Twee proeven die het golven en omlaagknikken van de korst toonen.

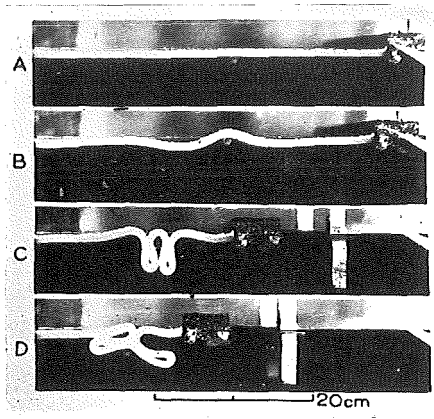



Fig. 6.
Een proef waarbij van tevoren een balkje onder de korst gebracht was.

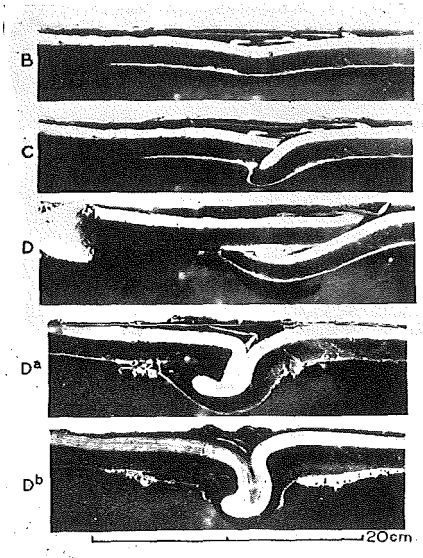



Fig. 7.
Drie opeenvolgende stadia in het doorbreken van de korst en twee doorsneden door dezelfde proef op plaatsen waar een wortel gevormd werd.

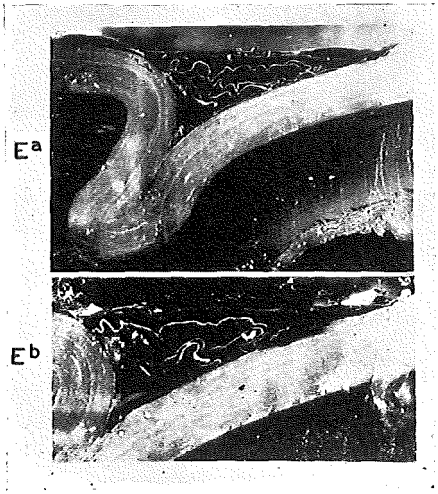



Fig. 8.
Het centrale deel van een proef waarbij de inhoud van de geosynclinale geplooid werd.

te mengen met vaseline en machineolie. Bij de gebezigde temperaturen was dit mengsel ongeveer zoo zacht als dunne jam. Voor zoover is na te gaan, was hiermee de sterkte op de juiste schaal verkleind in verhouding tot de dikte van de modelkorst.

Wanneer de proeven nu herhaald werden bleek het proces te verloopen, zonder dat de depressies of verhevenheden aan de oppervlakte onnatuurlijke afmetingen aannamen. Toch is het verloop in principe gelijk aan dat van de eerste serie. Wederom golving van de korst gevolgd door een knikvorming omlaag. De twee processen gaan nu echter geleidelijk in elkaar over en de wortel begint zich reeds zeer spoedig te vormen.

In zeker opzicht echter werd het principe van VENING MEINESZ in de proeven in zoo sterke mate bevestigd, dat er een nieuwe moeilijkheid dreigde op te treden. Wanneer namelijk een geosynclinale met sediment-inhoud werd nagebootst door langs een strook wat materiaal op de korst te brengen, dan verdween ook steeds deze inhoud omlaag in de kern van de omlaag knikkende plooi van de korst. M.a.w. het leek onmogelijk om met de veronderstellingen van VENING MEINESZ een samenschuiven van de geosynclinale te verkrijgen tot een geplooide massa, gelegen bovenop de korst, met een knik van de laatste als wortel.

Een theoretische overweging wees de weg naar een oplossing. De inhoud van een geosynclinale moet, door de aard van de gesteenten en de dun gelaagde bouw, minder weerstand tegen plooikrachten bieden, dan de massieve korst daaronder. De laatste zal aldus onafhankelijk van de relatief slappe geosynclinaal vulling in een toegeknepen plooi omlaagknikken. Die vulling wordt als het ware omhoog uitgeknepen en komt, door de samenschuiving geplooid en in elkaar gedrukt, als een gerimpelde bedekking te liggen op de naad van de onafhankelijk omlaag geknikte korst.

Herhaling van de proef met een geosynclinaal inhoud waarvan de vastheid belangrijk kleiner was dan van de korst, leverde inderdaad het gewenschte resultaat. Vooral wanneer die inhoud be-

stond uit afwisselende laagjes met onderling verschillende plasticiteit, ontstond een gecompliceerd geplooide strook boven een knikwortel (fig. 8). Soms brak de korst door (fig. 7), hetgeen ook volgens de theorie het geval kan zijn, wanneer de korst te warm gemaakt wordt. In de natuur schijnen de omstandigheden dit verloop van het samenschuivingsproces uit te sluiten.

Samenvattende blijken de proeven het volgende resultaat te hebben opgeleverd. Een drijvende laag waarvan de plasticiteit ten opzichte van de dikte van dezelfde orde is als voor de aardkorst mag worden verondersteld, zal door horizontale druk in golven worden gelegd en aldus een geosynclinale toestand doormaken. Geleidelijk gaat de synclinale trog in een omlaag geknikte plooi over, waardoor een tekort aan massa, een negatieve anomalie, wordt teweeg gebracht. Men denke hierbij aan een verschijnsel als dat van de negatieve strook in Indië. Tegelijk zullen topografische reliefverschillen optreden, die eveneens in Indië hun illustratie vinden; terwijl hetzelfde geldt voor de plooiïng van de plastische inhoud van de geosynclinale. Fig. 9 geeft schematisch weer hoe men zich het verloop van de gebergtevorming volgens de knikhypothese moet voorstellen.

De theorie van VENING MEINESZ, die oorspronkelijk alleen was opgesteld om een oorzaak te vinden voor abnormale verschijnselen in het zwaartekrachtsveld, maar die verschillende andere geologische waarnemingen in logisch verband met elkaar bleek te brengen en te verklaren, is aldus door het experimenteele onderzoek volkomen bevestigd en in enkele opzichten zelfs aangevuld. Het is echter duidelijk, dat de proeven geen bewijskracht bezitten doch slechts de theorie steunen en verhelderen Van de juistheid van de veronderstellingen betreffende de bouw en aard van de korst, die aan de knikhypothese ten grondslag liggen, kunnen ze ons geen bevestiging geven.

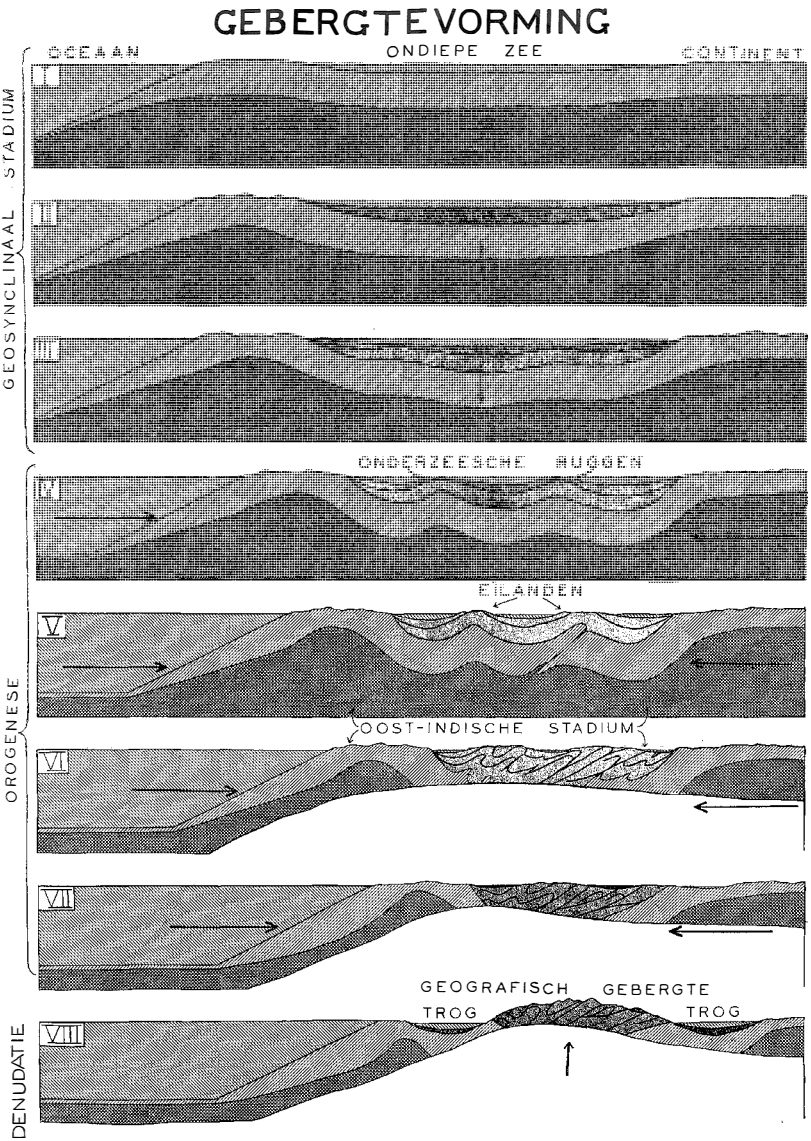

GEBERGTEVORMING
OCEAAN
ONDIEPE ZEE
CONTINENT
GEOSYNCLINAAL STADIUM
I
II
III
ONDERZEESCHE RUGGEN
IV
EILANDEN
V
OOST-INDISCHE STADIUM
OROGENESE
VI
VII
GEOGRAFISCH TROG
GEBERGTE
TROG
VIII
DENUDATIE

**Fig. 2.**

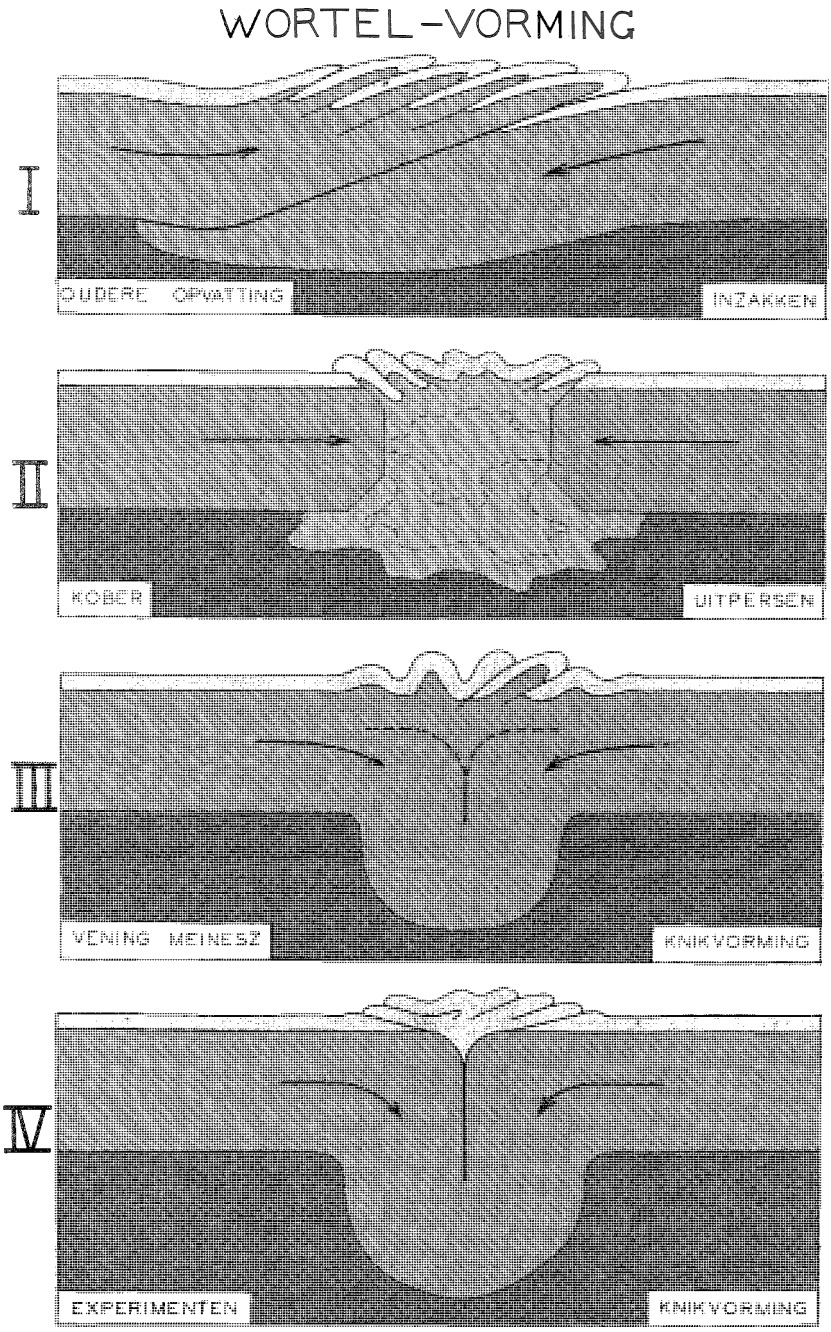

WORTEL-VORMING
I
OUDERE OPVATTING
INZAKKEN
II
KOKER
UITPERSEN
III
VENING MEINESZ
KNIKVORMING
IV
EXPERIMENTEN
KNIKVORMING

Fig. 3.

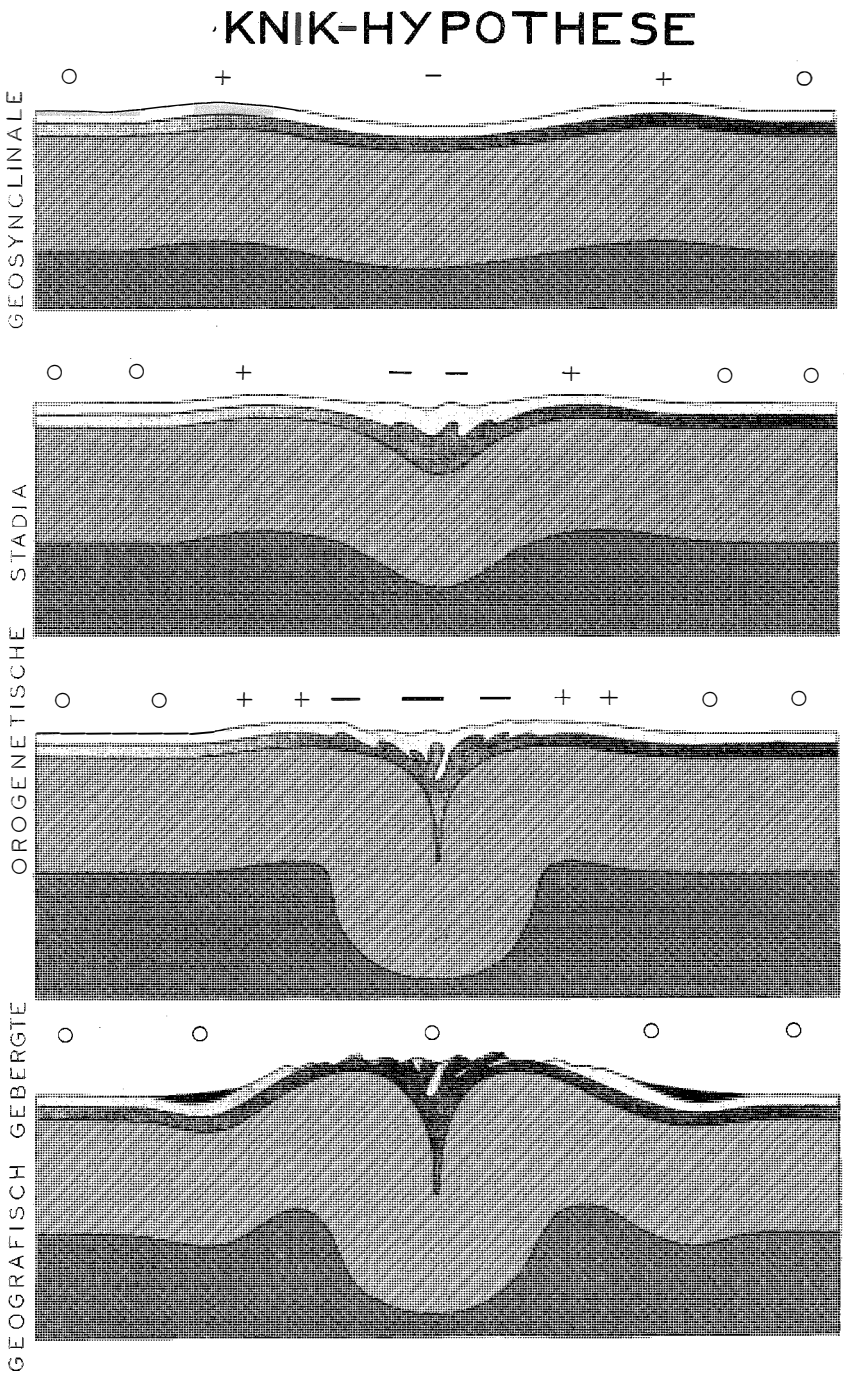

KNIK-HYPOTHESE
GEOSYNCLINALE
OROGENETISCHE STADIA
GEOGRAFISCH GEBERGTE

Fig. 9.